

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko – geologická fakulta

Institut Hornického inženýrství a bezpečnosti



Disertační práce doktorského studia

## Návrh zásad optimálního řízení větrní sítě ve vztahu k oblasti postižené požárem

**Ing. Pavel Zapletal**

Školitel: prof. Ing. Pavel Prokop, CSc., VŠB – TU Ostrava

Ostrava, květen 2009, VŠB – TU Ostrava

Místopřísežně prohlašuji, že jsem autorem této práce.

květen 2009

Ing. Pavel Zapletal

## Obsah

ANOTACE .....	5
ANNOTATION .....	5
Úvod .....	7
1   Současný stav .....	9
2   Cíle doktorské disertační práce .....	11
3   Základní zákonitosti při řešení větrných sítí .....	13
3.1   Fyzikální zákonitosti .....	14
3.2   Srovnání větrně technických zákonitostí .....	16
3.3   Matematické řešení větrní sítě .....	18
4   Volba vhodného SW prostředí s ohledem na vznik důlního požáru .....	20
4.1   SW využívaný v Polsku .....	20
4.2   SW využívaný v ČR .....	22
4.3   Konečný výběr SW .....	24
5   Rozbor případu před samovznícením a jeho předejití pomocí současného využívaného SW ...	25
5.1   Analýza výchozího stavu .....	26
5.2   Propočet možných variant řešení větrní sítě .....	27
5.3   Návrh a realizace opatření k zamezení průtahů větrů závalovým prostorem porubu .....	28
5.4   Možné mimořádné stavy .....	30
5.4.1   Snížení aerodynamického odporu negativní regulace ve větvi č. 163 .....	30
5.4.2   Zvýšení nebo snížení deprese HV .....	32
5.5   Obecná formulace postupu zamezení průtahů větrů .....	35
6   Zpřístupňování uzavřeného porubu č. 28731 zasaženého samovznícením uhlé hmoty .....	36
6.1   Popis situace porubu č. 28731 .....	37
6.2   Snížení aerodynamického odporu základny .....	45
6.3   Nasazení FLT beze změny odporu izolace základny .....	46
6.4   Nasazení FLT a snížení aerodynamického odporu izolace na základně .....	48
6.5   Konečný návrh regulace větrání pro zpřístupněné požářiště .....	51
7   Analýza naměřených hodnot z Dolu Karviná, závod ČSA v programu Ventgraph .....	52
8   Přirozený větrný tah .....	55
9   Vliv důlního požáru při sestupném vedení větrního proudu .....	58
9.1   Výpočet tepelného vztlaku .....	58
9.2   Zvrat větrního proudu .....	60
9.3   Možné varianty zvratu větrního proudu .....	61
10   Důlní požáry ohrožující tlakové spády ve větrní síti .....	64
10.1   Požár na pásové třídě na diagonále .....	69
10.2   Požár na úvodní třídě do oblasti podpatrového dobývání .....	73
10.3   Požár ve slepé jámě (šibíku) .....	76

10.4	Požár na výdušné třídě nebo vrchní úvrati porubu na kritické cestě .....	79
11	Návrh podmínek pro řízení větrní sítě .....	82
12	Závěr.....	84
13	Použitá literatura.....	86
14	Vlastní publikační činnost .....	87
	Seznam obrázků.....	88
	Seznam tabulek.....	89
	Seznam příloh .....	90

## **ANOTACE**

Důlní požáry představují významné riziko ovlivňující zdraví a bezpečnost pracovníků v dole. Doly v Ostravsko-karvinském revíru patří do skupiny plynujících dolů s velice častým výskytem endogenních požárů, které jsou důsledkem samovznícení uhelné hmoty. Veliké riziko ale představují i požáry exogenní (z vnějších příčin). Při vzniku požáru je nutné stanovit optimální způsoby zdolávání požáru a hlavně správné řízení větrní sítě. V dnešní době se doly často spojují do velkých komplexů a vznikají tak složité větrní sítě. Také se při postupu do větších hloubek z ekonomických důvodů upouští od prohlubování jam a přistupuje se k podpatrovému dobývání, které s sebou nese také řadu dalších závažných rizik.

Všechny tyto parametry vyžadují zpřesnění výpočtů větrních sítí a také rozšíření o řešení proudění důlních větrů v anomálních podmínkách. Anomálními podmínkami v praxi jsou přídatné jevy jako přirozený větrní tah, nebo tepelný vztlak vzniklý důlním požárem. Tato práce se právě těmito výpočty zabývá.

### **Klíčová slova**

Důlní požár, podpatrové dobývání, havarijní situace, důlní větrání, spontánní samovznícení, přirozený větrní tah

## **ANNOTATION**

Mine fires represent a significant risk affecting health and safety of employees in the mine. Mines in Ostrava-Karvina coal field belong to the group of gassy mines with a very frequent occurrence of breeding fires arising by spontaneous combustion of coal substance. The mine fires caused by the outside factors represent a big risk, too. It is necessary to determine the optimal ways of fighting a fire and, especially, to select an appropriate control of ventilation network when a fire arises. Nowadays, mines are often joined into large complexes, so complicated ventilation networks are created. When descending into greater depth, shaft deepening is often avoided for economical reasons. Instead, working under the main haulage level is preferred. This option, however, creates a lot of serious risks.

All these parameters require a more precise calculation of ventilation networks. Also, the solution to the flow of mine air in anomalous conditions is required. In practice the anomalous conditions are the additional phenomena such as the natural draft or the heat lift created by the mine fire. This thesis deals with these calculations.

**Key words**

Mine fire, working under the main haulage level, wrecking situation, subsurface ventilation, spontaneous combustion, natural draft,

## Úvod

Při těžbě v hlubinných dolech patří důlní požáry mezi významná rizika, která ovlivňují bezpečnost a zdraví pracovníků. Podle způsobu vzniku můžeme důlní požáry rozdělit na endogenní požáry (požáry z vnitřních příčin) a exogenní požáry (požáry z vnějších příčin). Exogenní požáry vznikají zpravidla nedůsledným dodržováním bezpečnostních a technologických předpisů apod. Příčinou endogenních požárů bývá samovznícení uhelné hmoty, organických a neorganických látek.

Nejen důlní požáry, ale i současný stav našich dolů vyžaduje velkou pozornost pro řešení větrných sítí. Sledovat musíme především v současné době narůstající časté spojování dolů do společných komplexů, které se z hlediska důlního větrání stávají značně složitými. Velice závažnou problematikou může být ale i samotný způsob dobývání v jednotlivých dolech. Při postupu dobývání do větších hloubek se zejména z ekonomických důvodů upouští od prohlubování úvodních jam a přistupuje se k podpatrovému dobývání, které s sebou nese řadu dalších závažných rizik.

Pro analýzu jednoduchých i složitých situací důlního větrání využíváme řadu výpočetních programů. Jako praktický příklad řešení, které dokazuje přednosti softwarů (SW) uvedených v doktorské disertační práci, jsem vybral situaci v Ostravsko-karvinských dolech (OKD). Ty patří do skupiny plynujících černouhelných dolů, ve kterých dochází velmi často ke spontánnímu samovznícování uhelné hmoty. Za těchto podmínek je třeba takto zasažené lokality uhasit, nebo samovznícovací proces utlumit a často poslední možností bývá tuto oblast uzavřít. Po určité době nastávají případy, kdy je nutno tyto lokality znovu otevřít. Při nevhodném či špatném postupu odvětrání požářiště však může dojít k opětovnému zapálení uhelné hmoty a tyto lokality se musí znovu uzavřít. Důlní požáry obecně mohou svým tepelným vztlakem způsobit zvrát větrů v některých větvích větrné sítě. Zvratem větrů může dojít ke zviření uhelného prachu, který je vlivem ustáleného proudění důlních větrů usazený (např. za výztuží apod.). Obrácením důlních větrů, které ředí koncentraci metanu na povolenou mez, by mohlo dojít k výraznému navýšení koncentrace metanu nad povolenou mez. V tu chvíli hrozí riziko, že se takto obohacený větrný proud bude šířit přímo do ohniska požáru a mohlo by dojít také k výbuchu.

Takovéto případy vedou k situaci, kdy je nutno stanovit, nebo navrhnout zásady optimálního řízení větrní sítě v těchto lokalitách. Cílem je zvýšit bezpečnost práce v zasažených oblastech a snížit nebezpečí spojené s možným vytvářením výbušné metanovzdušné směsi ve vyrubaných prostorách, která představuje mimořádně závažné riziko. Přínosem takovýchto zásad optimálního řízení větrní sítě by bylo minimalizování možnosti opětovného vzniku požáru a zajištění včasného zásahu do případného vývoje nepříznivého děje, popřípadě včasného odvrácení nežádoucího vývoje. V současné legislativě se tomuto problému věnuje vyhláška č. 22/1989 Sb. ČBÚ (Český báňský úřad) a související předpisy.



# 1 Současný stav

Doly v Ostravsko-karvinském revíru (OKR) patří mezi plynující doly a často se v nich vyskytují endogenní požáry, které jsou důsledkem spontánního samovznícení uhelné hmoty. Nejčastěji vznikají tyto jevy v závalovém prostoru porubu, když dochází k průtahům větrů závalovým prostorem. V mnoha případech se požářiště opětovně zpřístupňují, a to např. z důvodu vyklízení výztuže a jiných mechanických zařízení, nebo obnovení dobývání v porubu. Pro tyto účely musí organizace podle vyhlášky č. 22/1989 Sb. ČBÚ [1] vypracovat plán. Ten musí řešit zejména způsob odvětrání požářiště z hlediska nebezpečí obnovy důlního požáru a vliv zapojení zpřístupňovaných důlních děl na celkové větrání dolu. K vypracování takového plánu slouží řada měření v daných lokalitách, a potom výpočtové práce pomocí vhodného počítačového programu. Ne na všech činných dolech OKR se používá jednotný software pro výpočty větrních sítí a jejich grafické znázornění. Většinou se používá výpočetní program SIT, verze 2.39. Ke grafickému zobrazení se používají pomocné grafické soubory, jako jsou AUTOCAD nebo Microstation. Pomocí těchto programů se většinou řeší jen ustálené proudění větrů. Po vypracování plánu a schválení jeho použití nebylo však vždy docíleno očekávaných výsledků a často se uhelná hmota ve zpřístupněných prostorech vznítala. Samovznícením uhelné hmoty se v dnešní době zabývá řada výzkumných projektů. Možný vznik tohoto typu požáru se pravidelně zjišťuje a kontroluje, v mnoha případech se dá tomuto druhu požáru předejít.

Existují ale typy důlních požárů, které nelze předem a včas zjistit, proto je jim třeba věnovat velkou pozornost. Jedná se o důlní požáry, které mohou vzniknout z vnějších příčin. Takovéto požáry s sebou nesou závažná rizika, ať již v úvodu zmíněný tepelný vztlak ohně, který může způsobit zvrát důlních větrů, ale také další nebezpečí spočívající v tom, že zplodiny hoření (kouř s toxickým kysličníkem uhelnatým) mohou zamořit pracoviště, která by jinak za normálního proudění důlních větrů zůstala mimo nebezpečí.

V současné době se větrní sítě počítají, resp. řeší za normálních podmínek větrání, tzn., že neuvažujeme tlak, teplotu, případně vlhkost a hloubku jednotlivých důlních děl. Rozvoj těžby v OKR, spojování dolů ve složitější celky a uzavírání některých výdušných

jam vyžaduje zpřesnění a rozšíření výpočtů větrní sítě o řešení proudění důlních větrů v anomálních podmínkách. Anomálními podmínkami v praxi jsou tyto přídatné jevy:

- přirozený větrný tah,
- tepelný vztlak vzniklý změnou teploty ovzduší (např. důlním požárem),
- změna hustoty ovzduší (např. různá koncentrace metanovzdušné směsi – přítomnost fukačů  $\text{CH}_4$ ) apod.

Na konci minulého století došlo především v zahraničí k významnému pokroku při řešení takových situací. Posledních 20 let probíhaly úspěšné teoretické a experimentální práce, vedoucí k objasnění jevů ovlivňujících neustálé procesy proudění důlního ovzduší s metanem a požárními plyny. Také probíhaly úspěšné práce na rozvoji definic jevů ovlivňujících neustálé procesy proudění důlních větrů.

Tak např. polští odborníci Akademie věd sestavili systém výpočetních programů, které jsou významné tím, že poskytují samostatné programové bloky pro řešení úkolů spojených s bezpečným řízením větrání dolu a obsahují grafické znázornění vypočtených výsledků. Grafické prostorové schéma je sjednoceno s číselnými hodnotami charakterizující průtok v dané větvi větrní sítě. To umožňuje ve skutečnosti zobrazení libovolné animace každého výpočtu [2]. Možnost práce s těmito programy v podmínkách dolů OKR by byla jistě přínosem, už z toho důvodu, že na polských dolech panují velice podobné těžební podmínky.

## 2 Cíle doktorské disertační práce

S ohledem na současný stav popsany v předchozí kapitole je nutno přistoupit ke zkvalitnění způsobů řešení větrných sítí, zejména při dobývání ve větších hloubkách, kde se zvyšují nároky na efektivnost větrání. Dále je potřeba zohledňovat možná rizika při výpočtech (např. důlní požáry v kritických oblastech dolu) a snažit se co nejlépe tyto situace zvládat, jak po stránce technické, tak i po stránce ekonomické. Obecným cílem této doktorské disertační práce je stanovit možnosti a podmínky využití nového výpočetního programu v podmínkách našich dolů, který umí řešit tyto složité situace v důlní větrní síti. K úkolům zpřesnění a rozšíření výpočtů ve větrných sítích o případy proudění důlního ovzduší v anomálních podmínkách, jsou směřovány cíle mé disertační práce:

- Výběr a porovnání SW prostředí vhodných pro výpočty ve větrných sítích s ohledem na vznik důlního požáru
- Analýza bezpečnosti opětovného zpřístupnění porubu, jehož uzavření bylo vynuceno samovznícením, resp. endogenním požárem
- Grafické znázornění větrní sítě v programu Ventgraph a příslušné výpočty, na jejichž základě budou popsány změny proudění v důlní větrní síti vyvolané požárem vzniklým v nebezpečném místě dolu
- Analýza rizik podpatrového dobývání ve vztahu k důlní větrní síti
- Návrh zásad pro optimální řízení větrní sítě v oblastech ohrožených důlními požáry

V rámci řešení prvního cíle disertační práce budou popsány základní fyzikální zákonitosti, o které se opírá současné řešení větrných sítí. Dále bude také pomocí současně využívaného SW posouzen možný průtah větrů závalovým prostorem porubu a budou navrženy zásady, jak tomuto nepříznivému jevu zabránit.

Řešení druhého cíle bude provedeno jak v současné době využívaným programem na našich dolech, tak pro kontrolu správnosti verifikováno zahraničním programem, který je vhodný pro řešení větrní sítě s možným vznikem požáru.

Pro splnění třetího a čtvrtého cíle této disertační práce budou provedena potřebná měření na dole Karviná, závod ČSA. Dále budou postupně analyzovány obecné zákonitosti možných situací větrné sítě, které se mohou pomocí zvoleného SW řešit a budou provedeny modelové výpočty s naměřenými daty. Na základě výsledků těchto výpočtů bude vypracován poslední cíl této práce, a to stanovení zásad optimálního řízení větrné sítě ve vztahu k oblasti postižené požárem.

### 3 Základní zákonitosti při řešení větrných sítí

Technicky správné větrání dolu vyžaduje správně propočtený projekt dolu, důslednou kontrolu a kvalitní řízení větrního hospodářství. Technicky dokonalé větrání musí vytvářet takový režim, který zajišťuje dodržování větrných parametrů ve stanovených mezích bezpečnostních a hygienických předpisů, které zaručují podmínky pro bezpečnou a produktivní práci pracovníků. Nezbytným předpokladem pro takové větrání je technicky správné a řízené rozvádění důlních větrů, resp. jejich regulace do jednotlivých částí větrní sítě příslušného dolu, tzn. do jednotlivých SVO (samostatné větrné oddělení) a v nich až na příslušná pracoviště.

Požadované objemové průtoky větrů zaručují dokonalé větrání pracovišť, které je docíleno správnou volbou způsobů větrání, rychlostí proudění důlních větrů, velikostí profilů jednotlivých větrných cest, správnou regulací proudů a výkonem tlakových zdrojů (ventilátorů). Při řešení větrání dolů, při propočtech větrných sítí a zpracovávání větrných rozvah máme možnost využít řadu způsobů propočtů větrní sítě.

Řešení důlní větrní sítě znamená určení objemového průtoku  $Q_v$ , tlakového rozdílu  $\Delta p$  a aerodynamického odporu  $R$  v každé větvi sítě. Podle [3] existuje celá řada metod, které lze zařadit do těchto skupin:

1. Klasické metody (zadávané neškrcené odpory  $R_i$  v jednotlivých větvích, celkový tlakový  $\Delta p_c$ , počítáme objemové průtoky v jednotlivých větvích  $Q_{vi}$  a tlakové rozdíly v jednotlivých větvích  $\Delta p_i$ )

Podle způsobu výpočtu rozlišujeme dva postupy:

- a) Proměna sítě podle odporu
  - b) Iterační metoda propočtu
2. Metoda kritické cesty (zadávané neškrcené odpory  $R_i$  v jednotlivých větvích, požadované objemové průtoky v jednotlivých větvích  $Q_{vi}$ , počítáme tlakové rozdíly v jednotlivých větvích  $\Delta p_i$  a potřebné odpory  $R_i$  v jednotlivých větvích, které zajistí požadované rozdělení celkového větrního proudu)

V současné době se důlní větrná síť řeší na počítačích, kdy se vychází z některých známých metod řešení a ty jsou doplněny o základní fyzikální zákonitosti, které jsou nutné pro správné stanovení matematického modelu řešení větrné sítě. Nejvhodnější metodou řešení větrné sítě a také ve světě nejvyužívanější metodou je Hardy – Cross metoda postupným (iteračním) přibližováním.

### 3.1 Fyzikální zákonitosti

Řešení větrných sítí se opírá o fyzikální zákonitosti, které jsou základními parametry pro matematické řešení a modelování větrných sítí. Mezi hlavní fyzikální zákonitosti řadíme:

#### 1. Věta o zachování hmoty

$$Q_m = S \cdot \rho \cdot v = \text{konst.} \quad \left[ \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (1)$$

Kde:

$$S \quad - \text{průřez důlního díla} \quad \left[ \text{m}^2 \right]$$

$$\rho \quad - \text{hustota} \quad \left[ \text{g} \cdot \text{m}^{-3} \right]$$

$$v \quad - \text{rychlost proudění} \quad \left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right]$$

#### 2. Věta o zachování energie

Tato věta představuje diferenciální rovnice bez zohlednění ventilátoru

$$-\frac{dp}{\rho} = d\psi + g dz + v dv \quad (2)$$

Kde:

$$p \quad - \text{barometrický tlak} \quad \left[ \text{Pa} \right]$$

$$g \quad - \text{gravitační zrychlení} \quad \left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \right]$$

$$z \quad - \text{osa pro geodetickou výšku} \quad \left[ \text{m} \right]$$

$$d\psi \quad - \text{disipační energie ve větrném úseku vztažená na jednotku hmoty} \quad \left[ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \right]$$

$$v \quad - \text{rychlost proudění} \quad \left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right]$$

### 3. Třecí zákon pro proudící média

$$d\psi = \lambda \cdot \frac{O}{8 \cdot S} \cdot v^2 dx \quad \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{kg}^{-1} \right] \quad (3)$$

Kde:

$dx$  - délka větrního úseku  $\left[ \text{m} \right]$

$O$  - obvod důlního díla  $\left[ \text{m} \right]$

$S$  - průřez důlního díla  $\left[ \text{m}^2 \right]$

$\lambda$  - koeficient tření  $\left[ - \right]$

$v$  - rychlost proudění  $\left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right]$

$d\psi$  - disipační energie ve větrném úseku vztažená na jednotku hmoty  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{kg}^{-1} \right]$

### 4. Stavová rovnice větrů

$$\rho = \frac{p}{R_f \cdot T} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (4)$$

Kde:

$p$  - barometrický tlak  $\left[ \text{Pa} \right]$

$T$  - teplota  $\left[ \text{K} \right]$

$R_f$  - plynová konstanta  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \right]$

### 5. Stavová změna: lineárně závislá hustota větrů na délce $x$

$$\rho = f(x) \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (5)$$

Kde:

$x$  - délka větrního úseku  $\left[ \text{m} \right]$

### 6. Vztah hmotnostních průtoků v uzlových bodech

$$\sum Q_m = 0 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (6)$$

### 3.2 Srovnání větrně technických zákonitostí

Výpočet větrní síť lze provádět dvěma způsoby, a to kompresibilním výpočtem a nekompresibilním výpočtem. Následující podkapitola se bude zabývat základními rozdíly ve výpočtech pomocí obou způsobů.

#### 1. Výpočet tlakové ztráty (deprese) z hodnoty místních tlaků v uzlových bodech

Pro kompresibilní propočet platí vztah:

$$p_1 - p_2 = \Delta p_r - \rho_m \cdot g \cdot (z_1 - z_2) \quad \text{Pa} \quad (7)$$

Kde:

$p_1, p_2$  - místní barometrický tlak Pa

$\Delta p_r$  - tlaková ztráta (deprese) Pa

$\rho_m$  - střední hustota  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

$g$  - gravitační zrychlení  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

$z_1, z_2$  - geodetická výška m

Pro nekompresibilní propočet platí vztah:

$$p_1 - p_2 = \Delta p_r \quad \text{Pa} \quad (8)$$

Kde:

$p_1, p_2$  - místní barometrický tlak Pa

$\Delta p_r$  - tlaková ztráta (deprese) Pa

#### 2. Výpočet tlakové ztráty – Atkinsonův zákon

Pro kompresibilní propočet platí vztah:

$$\Delta p_r = R_n \cdot Q_{vm}^2 \cdot \frac{\rho_n}{\rho_m} \quad \text{Pa} \quad (9)$$

Kde:

$\Delta p_r$  - tlaková ztráta (deprese) Pa



$R_n$  - normovaný odpor  $[g \cdot m^{-7}]$

$Q_{vm}$  - střední objemový průtok  $[m^3 \cdot s^{-1}]$

$\rho_m$  - střední hustota ovzduší  $[g \cdot m^{-3}]$

$\rho_n$  - normovaná hustota ovzduší  $[g \cdot m^{-3}]$

$\rho_n = \rho$  - při 0 °C a barometrickém tlaku 101300 Pa ,  $\rho_n = 1,292$   $[g \cdot m^{-3}]$

Pro nekompresibilní propočet platí vztah:

$$\Delta p_r = R \cdot Q_v^2 \quad [Pa] \quad (10)$$

Kde:

$R$  - aerodynamický odpor  $[g \cdot m^{-7}]$

$Q_v$  - objemový průtok  $[m^3 \cdot s^{-1}]$

### 3. Výpočet aerodynamických odporů

Pro kompresibilní propočet platí vztah:

$$R_n = \left( \lambda \cdot \frac{O \cdot l}{4S} + \zeta \right) \cdot \left( \frac{\rho_n}{2A^2} \right) \quad [g \cdot m^{-7}] \quad (11)$$

Pro nekompresibilní propočet platí vztah:

$$R = \left( \lambda \cdot \frac{O \cdot l}{4S} + \zeta \right) \cdot \left( \frac{\rho}{2A^2} \right) \quad [g \cdot m^{-7}] \quad (12)$$

Kde:

$R$  - aerodynamický odpor  $[g \cdot m^{-7}]$

$R_n$  - normovaný odpor  $[g \cdot m^{-7}]$

$\zeta$  - koeficient odporu pro lokální tlakové ztráty  $[ ]$

$O$  - obvod důlního díla  $[m]$

$S$  - průřez důlního díla  $[m^2]$

$\rho_n$  - normovaná hustota ovzduší  $[g \cdot m^{-3}]$

$\rho$  - hustota ovzduší

$$[\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$$

### 3.3 Matematické řešení větrné sítě

Při matematickém řešení větrných sítí vycházíme ze základních Gärtnerových zákonů, pomocí kterých se v počítačových programech sestavují soustavy rovnic. Samotné řešení větrné sítě se provádí iterační Hardy-Crossovou metodou, která spočívá v postupném přiblížení. Vycházíme z přibližného odhadu, který se postupným přibližováním (iteracemi) zpřesňuje.

1. Hmotnostní průtok v uzlových bodech – součet hmotnostních průtoků větrů proudících do uzlu je roven součtu hmotnostních průtoků větrů proudících z uzlu.

$$\sum Q_{m_i} = 0 \quad [\text{g} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (13)$$

2. Zachování nulových součtů tlaků v uzavřené smyčce – součet tlakových spádů jednotlivých větví uzavřené větrné smyčky je s ohledem na směr proudění větrů v nich roven nule.

$$\sum \Delta p_i = 0 \quad [\text{Pa}] \quad (14)$$

3. Objemový průtok v uzlových bodech – součet objemových průtoků větrů proudících do uzlu je roven součtu objemových průtoků větrů proudících z uzlu.

$$\sum Q_{v_i} = 0 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (15)$$

Postup výpočtu je následující [3]:

Pokud neznáme přesný objemový průtok  $Q_{v_i}$  v každé větvi sítě, zvolíme jeho přibližnou hodnotu  $Q'_{v_i}$ , která se od přesné hodnoty liší o hodnotu  $\Delta Q_{v_i}$ , můžeme napsat vztah pro výpočet objemového průtoky jako:

$$Q_{v_i} = Q'_{v_i} \pm \Delta Q_{v_i} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (16)$$

Hodnota chyby (opravy) ve výpočtu objemového průtoky je dána obecně vztahem:

$$\Delta Q_{v_i} = \pm \frac{\sum \pm \Delta p_{v_i} - \sum \pm R_i \cdot Q'^2_{v_i}}{2 \sum R_i \cdot Q'_{v_i}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (17)$$

Kde:

$\sum \pm \Delta p_{vi}$  - algebraický součet tlaků, vytvářených ventilátory ve všech větvích uzavřeného obrazce s přihlédnutím k znaménku podle proudění větrů

$\sum \pm R_i \cdot Q_{vi}'^2$  - algebraický součet depresních spádů ve větvích uzavřeného obrazce s přihlédnutím k znaménku podle proudění důlních větrů

$\sum \pm R_i \cdot Q_{vi}'$  - součet součinů  $R$  a  $Q_v$  ve všech větvích, sestavený bez ohledu na směr proudění

S pomocí vzorce pro opravu objemového průtoku počítáme postupným přibližováním (iteracemi) tak dlouho, dokud nezískáme při řešení větrní sítě požadovanou přesnost (např.  $\Delta Q_{vi} = 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

Při kompresibilním výpočtu musíme do výpočtu zahrnout jednotlivé hustoty v každé větvi větrní sítě, výškové rozdíly jednotlivých uzlových bodů, tlaky v uzlových bodech a gravitační zrychlení.

## 4 Volba vhodného SW prostředí s ohledem na vznik důlního požáru

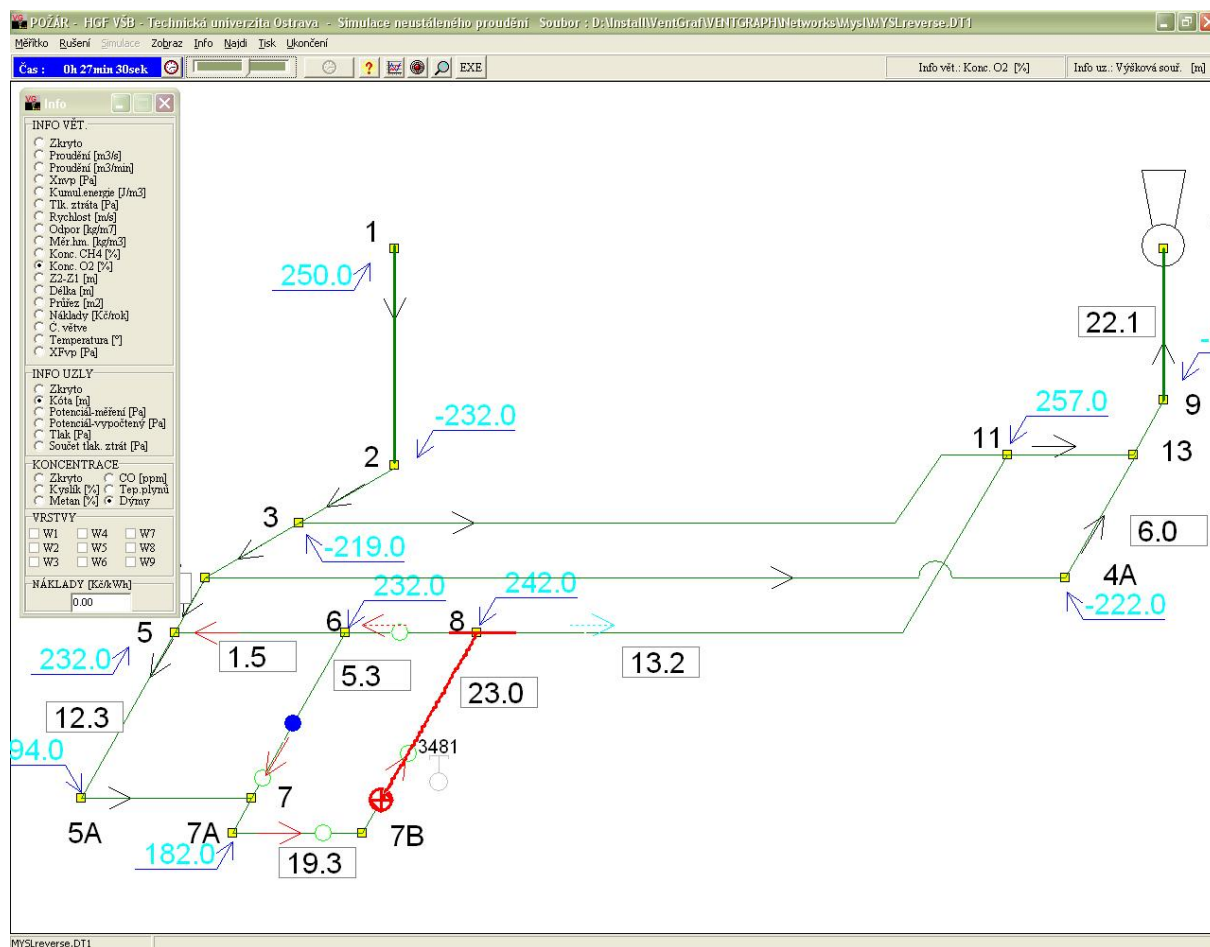
Při řešení větrných sítí, v jejichž části či částech se vyskytuje důlní požár, se pohybují teploty zplodin i ovzduší ve velmi rozsáhlém teplotním intervalu. Proto je tedy bezpodmínečně zapotřebí akceptovat kompresibilní výpočty, což znamená, že výpočetní programy musejí být vybaveny možností zahrnout do výpočtů rozdílné hustoty  $\rho$  proudících plynných médií.

### 4.1 SW využívaný v Polsku

Program Ventgraph je soubor integrovaných výpočetních programů poskytující reálné nástroje pro řešení [2]. Jedna z jeho součástí (program POŽÁR) umožňuje simulaci neustáleného proudění důlních větrů a plynů ve větrní síti a na pracovištích v případě důlního požáru, a proto je nejvhodnějším programem pro řízení větrní sítě ve vztahu k oblasti postižené požárem. Jednou z největších výhod tohoto programu je jeho grafické prostředí.

Program POŽÁR umožňuje:

- výpočet průtoku důlních větrů a požárních plynů v každé větrní cestě,
- určení aktuální deprese ventilátorů, tepelné deprese, případně přirozené deprese,
- výpočet teploty jako funkce času a polohy,
- výpočet šíření plynů a koncentrace dílčích plynů jako funkce času a polohy,
- výpočet času a oblasti, kde se odehrává zvrát větrů.



obr. 1 Ukázka větrní sítě se vzniklým požárem ve větvi 7B-8 [2]

Na obr. 1 je znázorněno jednoduché prostorové schéma větrní sítě s ohniskem požáru ve větvi 7B – 8 z 28. minuty od vzniku požáru. Červené a modré šipky označují směr proudění v dané větvi, červený křížek v kolečku představuje ohnisko požáru a směr postupu požáru je vybarven červenou barvou. Údaje v rámečku představují koncentraci  $O_2$  v [%] a modré šipky u uzlových bodů uvádí výškovou kótu v [m].

Hlavní pozornost při této modelaci byla věnována větvi mezi uzlovými body 6 a 8. Na začátku této simulace byl směr proudění větrů ve větvi označen šipkou z uzlového bodu 6 do uzlového bodu 8. Ve 26. minutě od vzniku požáru došlo v této větvi ke zvratu větrů a na obrázku je již vidět výsledný obrácený směr proudění. Při takovéto analýze máme možnost pracovat s regulačními prvky různých odporů za účelem zabránění případného zvratu větrů a tudíž zasažení jiné oblasti v dole.

Těmito možnostmi se právě program Ventgraph zabývá a v budoucnu by měl pomáhat s bezpečným řízením větrní sítě v případě vzniku důlního požáru a následného plánování únikových a záchranných cest.

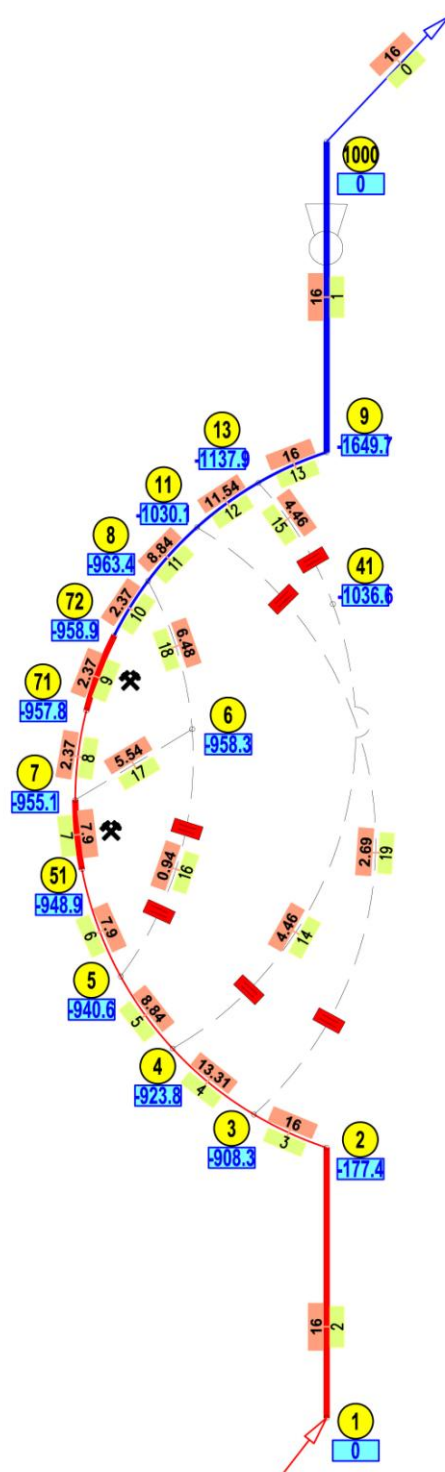
## 4.2 SW využívaný v ČR

Tvůrci polského programu Ventgraph (DZUIRZYNSKI, W., PALKA, T., KRAWARCZYK, J.) velice úzce spolupracovali s tvůrci českého programu SIT (CHROBÁČEK, TAUFER) a princip základního výpočtu proudění důlního ovzduší za normálních podmínek (kompresibilní i nekompresibilní výpočet) je téměř totožný [4]. Pro ukázkou jsem zvolil propočet cvičné sítě z polského SW v programu SIT a následné kanonické schéma je nakresleno v programu AUTOCAD (obr. 2).

**Tabulka 1 Srovnání výpočtu v programu Ventgraph a SIT [4]**

Číslo větvě	Objemový průtok $Q_v \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Ventgraf	Objemový průtok $Q_v$ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SIT	Rozdíl objemových průtoků $\Delta Q_v \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
1	16	16	0
2	16	16	0
3	16	16	0
4	13,27	13,31	0,04
5	8,7	8,84	0,14
6	7,8	7,9	0,1
7	7,9	7,9	0
8	2,47	2,37	-0,1
9	2,47	2,37	-0,1
10	2,47	2,37	-0,1
11	8,7	8,84	0,14
12	11,47	11,54	0,07
13	16	16	0
14	4,53	4,46	-0,07
15	4,53	4,46	-0,07
16	1	0,94	-0,06
17	5,33	5,54	0,21
18	6,33	6,48	0,15
19	2,75	2,69	-0,06

Software SIT je možno využít v některých případech pro řízení větrní sítě ve vztahu k oblastem postiženým požárem, a to zejména z důvodu, že tento program je používán na dolech OKR. Jedná se však především o řešení možných průtahů větrů, otvírání uzavřených požářišť, popřípadě i počítání přirozeného tlakového spádu.



obr. 2 Kanonické schéma větrní sítě po výpočtu programem SIT

### 4.3 Konečný výběr SW

Ačkoli oba programy pracují na stejném principu výpočtu (jedná se o výpočet proudění důlního ovzduší za normálních podmínek – kompresibilní i nekompresibilní), pro stanovení zásad optimálního řízení větrní sítě se na základě výše uvedeného zhodnocení jeví jako nejlépe použitelný výpočetní program Polské akademie věd v Krakově, Ventgraph [2], který dokáže počítat s tepelným vztlakem a s možným výskytem zdroje metanu.

Program SIT, verze 2.31 bude použit v následující kapitole, kde bude na praktickém příkladu znázorněno, jak se dá tento dosud používaný výpočetní program praktikovat pro regulaci průtahů větrů závalovým prostorem porubu. Dále budou prostřednictvím tohoto programu spolu s verifikováním v programu Ventgraph provedeny výpočty, které povedou ke stanovení zásad pro zpřístupnění porubu uzavřeného z důvodu samovznícení.

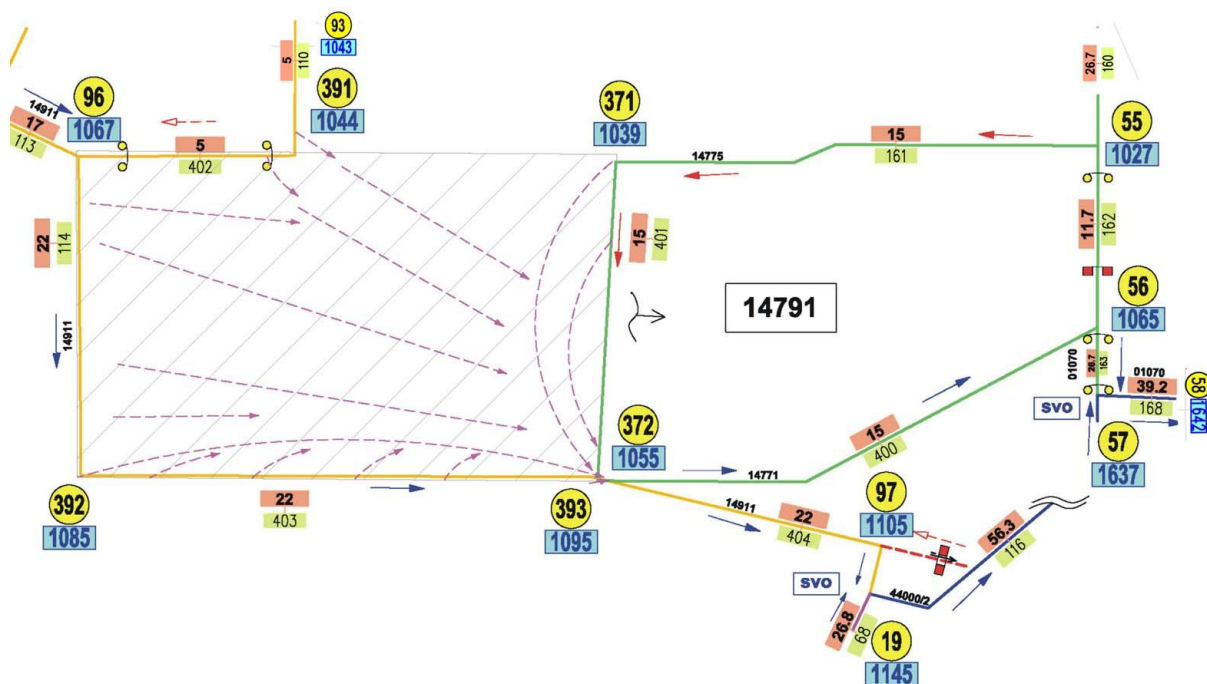
V druhé polovině této disertační práce již bude pracováno s programem Ventgraph, který je, jak již bylo uvedeno, vhodným programem pro řešení větrní sítě při proudění důlních větrů v anomálních podmínkách.



## 5 Rozbor případu před samovznícením a jeho předejití pomocí současného využívaného SW

















Pro ukázkou regulace průtahů větrů závalovým prostorem ve větrní síti byla vybrána situace ze 4. dobývací kry lokality Jan-Karel Dolu ČSA v Karviné z roku 2004 [5]. K této analýze byl vybrán dosud používaný program SIT.

Volba 4. dobývací kry dolu ČSA pro modelování jednotlivých variant konfigurace větrní sítě byla zvolena zcela záměrně. V roce 2004 byla v této dobývací kře současně provozována hornická činnost ve 37. sloji spočívající v dobývání porubu č. 14791 (obr. 3) a ve 39. sloji spočívající v ražbě přípravných děl pro porub č. 14936. Obě sloje jsou v této oblasti náchylné k samovznícení, které v minulosti v několika případech přešlo do plně rozvinuté fáze.



obr. 3 Schéma výchozího stavu sloje 14791

### LEGENDA:

	DÍLA V SVO 39.SLOJE		ÚVODNÍ VĚTRY
	DÍLA V SVO 37.SL.		VÝDUŠNÉ VĚTRY
	ÚVODNÍ DÍLA		ZKRATOVÉ VĚTRY
	DÍLA ZKRATŮ MIMO SVO		ZAČÁTEK SVO
	DÍLA OSTATNÍCH SVO		KONEC SVO
	VĚTRNÍ DVEŘE IZOLAČNÍ ZDĚNÉ		ČÍSLO UZLOVÉHO BODU
	VĚTRNÍ DVEŘE REGULAČNÍ DŘEVĚNÉ		DEPRESE V UZLOVÉM BODĚ (Pa)
			OBJEMOVÝ PRŮTOK VĚTRŮ VĚTVÍ ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )
			ČÍSLO VĚTVĚ

V těchto souvislostech je důležité analyzovat rozložení tlakových spádů ve větrní síti a určit opatření pro jejich minimalizaci na větrních komunikacích. Ověřování správnosti metody pro jednotlivé varianty praktickým měřením v dole je sice možné, ale velmi pracné a ne příliš flexibilní a operativní. Proto je nesrovnatelně vhodnější použití následujícího postupu. Při něm se nejdříve přímým měřením zjistí depresní poměry výchozího stavu, následně se matematickým modelováním určí nejvhodnější varianta pro eliminaci průtahů větrů, ta se realizuje v dole a výsledek se opět ověří měřením.

## 5.1 Analýza výchozího stavu

Mezislojová vzdálenost mezi 39. a 37. slojí je v předmětné oblasti mezi 20 – 25 m, přičemž meziloží je tvořeno z převážné části jemnozrnným pískovcem a kořenovým prachovcem. Tedy horninami střední pevnosti. K porušení meziloží 39. a 37. sloje došlo při exploataci porubu ve 37. sloji a následně k dalšímu ovlivnění meziloží došlo i při ražbách chodeb ve 39. sloji.

Pravděpodobnost průtahů důlních větrů mezi důlními díly ve 39. a 37. sloji a dalšími důlními díly je ještě zvýšena ražením důlních děl ve 39. sloji v obrysech výrubů 37. sloje z důvodů ochrany příslušných důlních děl před účinky horských otřesů.

Významným faktem zvyšujícím nebezpečí vzniku samovznícení v oblasti je také dobývání porubu ve 37. sloji ve spodní lávce, tj. na kontaktu se stařinami vrchní lávky a uhelná slojka mezi 37. a 39. slojí, která není vyvinuta v celé ploše 4. kry, ale místy dosahuje mocnosti až 1 m. Výše uvedený stav ukazuje jednoznačně na nejpravděpodobnější komunikace pro průtahy větrů – stařiny dobývaného porubu v 37. sloji.

Po stanovení pravděpodobných komunikací je potřebné přistoupit ke komplexní analýze depresního snímku oblasti.

## 5.2 Propočet možných variant řešení větrní sítě

V takto upraveném modelu větrní sítě (obr. 2) byl proveden propočet programem SIT pro celou síť dolu a zhodnocen tlakový spád mezi body 371 a 391 a mezi body 393 a 372. Tlakové spády mezi těmito body byly určeny jako základní kritéria nebezpečí průtahů větrů mezi úrovní 39. a 37. sloje.

Po propočtu je zřejmé, že tlakový spád mezi sousedními body 371 a 391 je pouze 5 Pa, což odpovídá předpokladu z větrní sítě převzaté z kanonického schématu dolu. Mezi body 393 a 372 však tlakový rozdíl činí 40 Pa a to směrem do 39. sloje, což naznačuje, že aerodynamický odpor negativní regulace na konci SVO 37. sloje je vyšší než je potřebné a regulace je „příliš těsná“. Nicméně 40 Pa je hodnota, která může být pro praxi považována za dostatečně malý tlakový rozdíl. Ale s ohledem na poměrnou blízkost obou bodů tvoří potenciální nebezpečí průtahů větrů závalovými prostory porubu č. 14791 a to směrem do 39. sloje, což je z hlediska kontroly vývinu samovznícení důležité zjištění, neboť jeho projevy (zvýšená koncentrace CO) mohou být méně patrné ve výdušných větrech samotného pracoviště a samovznícení nemusí být včas rozpoznáno.

Průtah větrů bude ovlivněn plynopropustností prostředí mezi 37. a 39. slojí. Z řady prací, které se touto možností zabývají, lze uvést dle [6] a [7] tyto poznatky:

Nebezpečná rychlost proudění důlních větrů, která může přispět ke vzniku samovznícení, se pohybuje v rozmezí od  $1,6 \cdot 10^{-3}$  do  $15 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pro sledovaný případ lze její hodnotu určit ze vztahu

$$v = \frac{\Delta p \cdot k_1}{\eta \cdot l} \quad \left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (18)$$

$v$  je filtrační rychlost v horninovém prostředí  $\left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right]$

$\Delta p$  rozdíl tlaků ve sledovaných uzlech  $\left[ \text{Pa} \right]$

$k_1$  plynopropustnost (permeabilita) horninového prostředí  $\left[ \text{m}^2 \right]$

$\eta$  dynamická viskozita (vzdušin)  $\left[ \text{Pa} \cdot \text{s} \right]$

$l$  délka filtračního toku (v našem případě mezislojová vzdálenost)  $[m]$

Pro konkrétní řešení při  $\Delta p = 40 \text{ Pa}$ ,  $k_1 = 10^{-7} \text{ m}^2$ ,  $\eta = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,  $l = 20 \text{ m}$ , vychází:

$v = 11,8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , což potvrzuje reálné nebezpečí samovznícení.

Tyto výsledky zkoumání plynopropustnosti horninového masívu, zejména původních hornin dobývaných slojí, mají nesmírnou důležitost v budoucnu po ukončení uhelné těžby. Tehdy se stává plynopropustnost jedním z rozhodujících činitelů pro vznik rizik souvisejících s výstupem stařinné atmosféry z uzavřeného a likvidovaného dolu na zemský povrch [8]. Z takto provedené analýzy, ke které byl využit propočet programem SIT ve verzi 2.39 [9] lze učinit dva závěry:

1. průtahy větrů závalovým prostorem porubu 14791 lze očekávat od děl ve 39. sloji směrem k porubu,
2. tlakový spád pro tyto průtahy je téměř eliminován negativní regulací na konci SVO 37. sloje ve větvi č. 163, aerodynamický odpor této regulace je však příliš velký.

Nyní je možné vytyčit směr pro stanovení opatření ke snížení nebo eliminaci tlakového spádu na předpokládané komunikaci.

Hlavními kroky jsou zjištění, zda změnou aerodynamického odporu negativní regulace ve větvi č. 163 je možné docílit další snížení tlakového spádu a následné propočty větrní sítě.

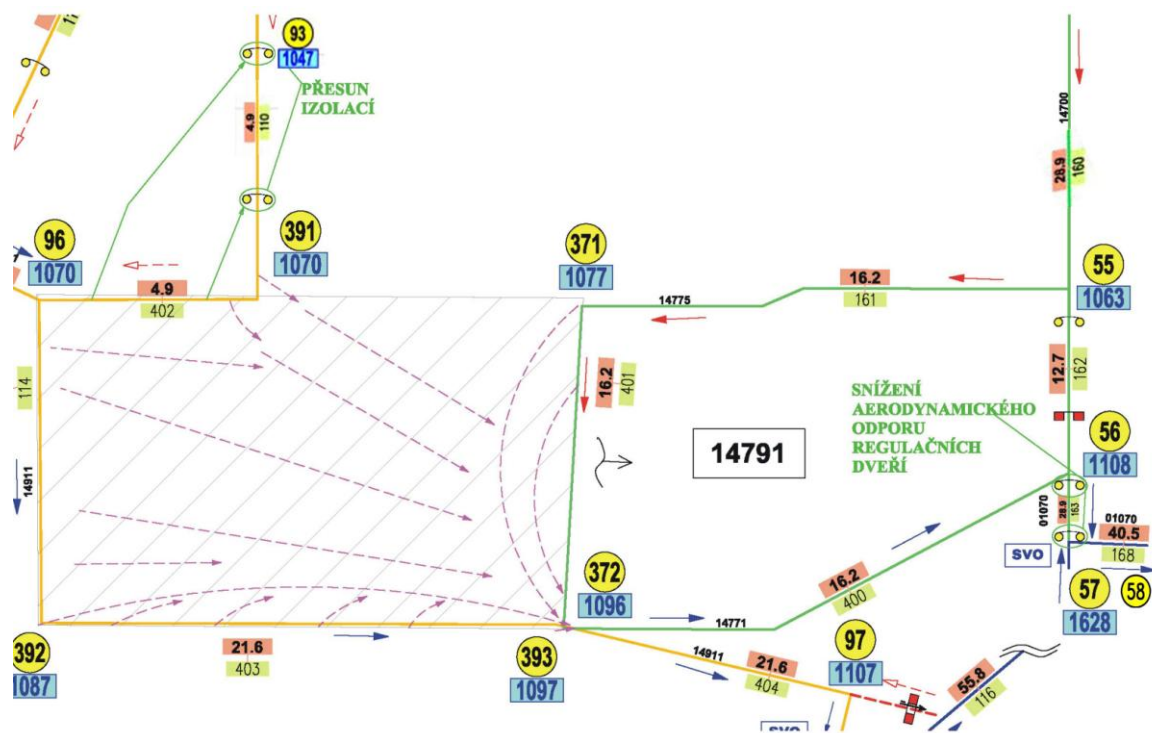
### **5.3 Návrh a realizace opatření k zamezení průtahů větrů závalovým prostorem porubu**

Prvním krokem k zamezení průtahů větrů závalovým prostorem porubu je změna aerodynamického odporu větve č. 163. Po nalezení aerodynamického odporu, který nejlépe eliminuje tlakový rozdíl zamezující průtahů větrů, se ověří, zda jsou při tomto odporu dodrženy potřebné parametry větrání pro jednotlivá pracoviště, zejména tedy objemový průtok větrů. Následně se zhodnotí dopad změny aerodynamického odporu negativní regulace na stabilitu větrání, alespoň v rozsahu SVO a určí se další možný postup.

Snížením aerodynamického odporu větve č. 163 se podařilo dosáhnout téměř úplné eliminace tlakového spádu mezi body č. 393 a č. 372, která nyní činí 1 Pa, což je zanedbatelná hodnota (obr. 4). Také vliv na objemový průtok větrů oběma SVO není významný a větrání je možné považovat za dostačující.

Zároveň je důležité povšimnout si větve č. 401, kde došlo ke zvýšení tlakového rozdílu mezi body č. 371 a č. 372, tedy tlakový rozdíl porubem z 16 na 19 Pa. Obecně je to ale jedno z kritérií, které je rovněž potřebné sledovat s ohledem na fakt, že zvýšení tlakového spádu mezi úvodní a výdušnou stranou porubu má rovněž nepříznivý vliv na průtahy větrů závalovým prostorem, které jsou tím větší, čím větší je tento tlakový spád, při zachování aerodynamických odporů porubu a závalového prostoru. Toto zvýšení ale není v našem případě významné, a proto je možné se jím dále nezabývat.

Druhým krokem výpočtu bylo eliminovat tlakové rozdíly mezi body č. 391 a 371. Aerodynamický odpor větve č. 402 (mezi body č. 391 a č. 96) byl zadán aerodynamickým odporem odpovídající důlnímu dílu bez izolačních objektů a do větve č. 110 (mezi body č. 93 a č. 391) se k aerodynamickému odporu připočetl aerodynamický odpor izolace. Po provedení výpočtu je zřejmé, že se snížení tlakového spádu podařilo snížit (viz obr. 4).



obr. 4 Schéma přesunu izolací a snížení aerodynamického odporu regulačních dveří

Stanovená opatření ke snížení pravděpodobnosti průtahů mezi díly ve 39. a 37. sloji jsou tedy následující:

1. snížit aerodynamický odpor negativní regulace na konci SVO 37. sloje ve větvi č. 163 (v dole např. přímým měřením tlakového spádu na regulaci při jejím roztěsňování až do dosažení požadovaného tlakového spádu),
2. přemístit izolace z větve č. 402 do větve č. 110,
3. ověřit provedená opatření proměřením tlakového snímku oblasti.

## **5.4 Možné mimořádné stavy**

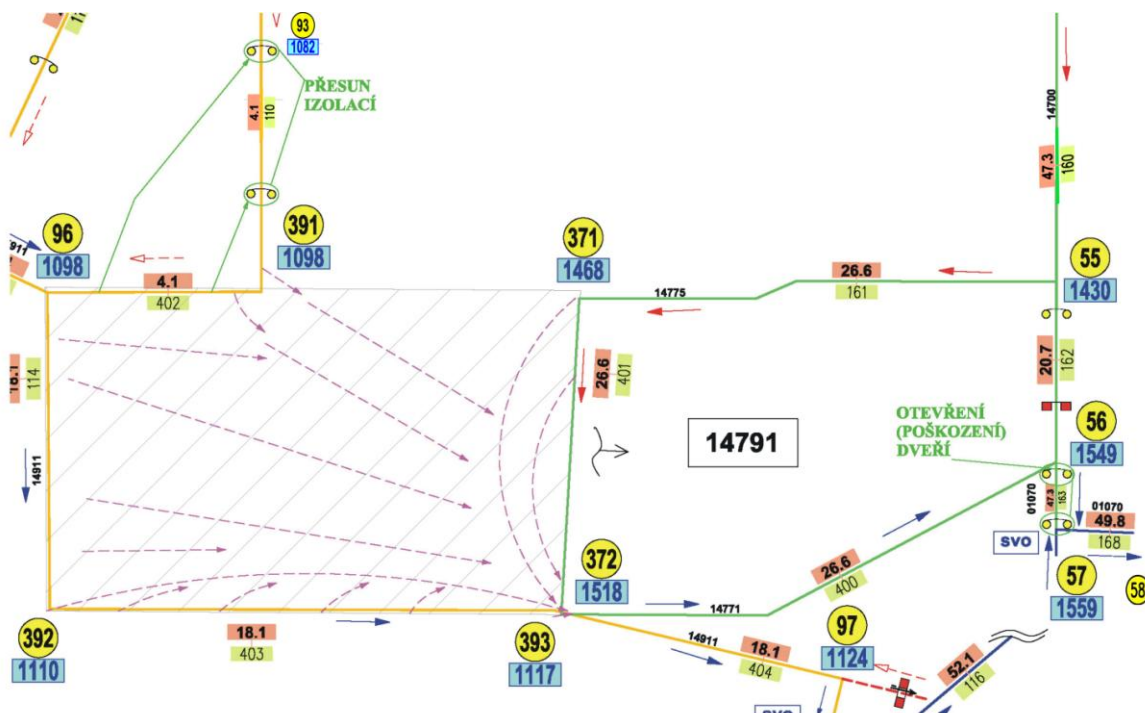
Ještě před realizací opatření je vhodné opět za pomoci propočtu větrní sítě ověřit, jaký dopad na konkrétní část větrní sítě budou mít stavy, které se odchýlí od běžného provozu. Mohly by nastat tyto případy:

1. otevření regulačních dveří ve větvi č. 163,
2. zvýšení deprese vyvolané hlavním ventilátorem (HV),
3. snížení deprese vyvolané hlavním ventilátorem (HV).

### **5.4.1 Snížení aerodynamického odporu negativní regulace ve větvi č. 163**

Negativní regulace (větrní dveře) ve větvi č. 163 mezi body č. 56 a č. 57 je naprosto rozhodující pro zachování minimálního tlakového spádu mezi 37. a 39. slojí. Z toho vyplývá otázka, co by se mohlo stát v případě, že dojde např. k poškození těchto dveří nebo k technologické nekázni při dopravě, kdy oboje větrní dveře zůstanou otevřeny.

Výsledek jde ověřit propočtem větrní sítě. Do větve č. 163 zadáme aerodynamický odpor odpovídající důlnímu dílu, bez negativní regulace (což je z hlediska poškození, nebo otevření dveří nejhorší případ), spustíme propočet a následně zhodnotíme výsledky.



obr. 5 Otevření (poškození) dveří ve větvi 163

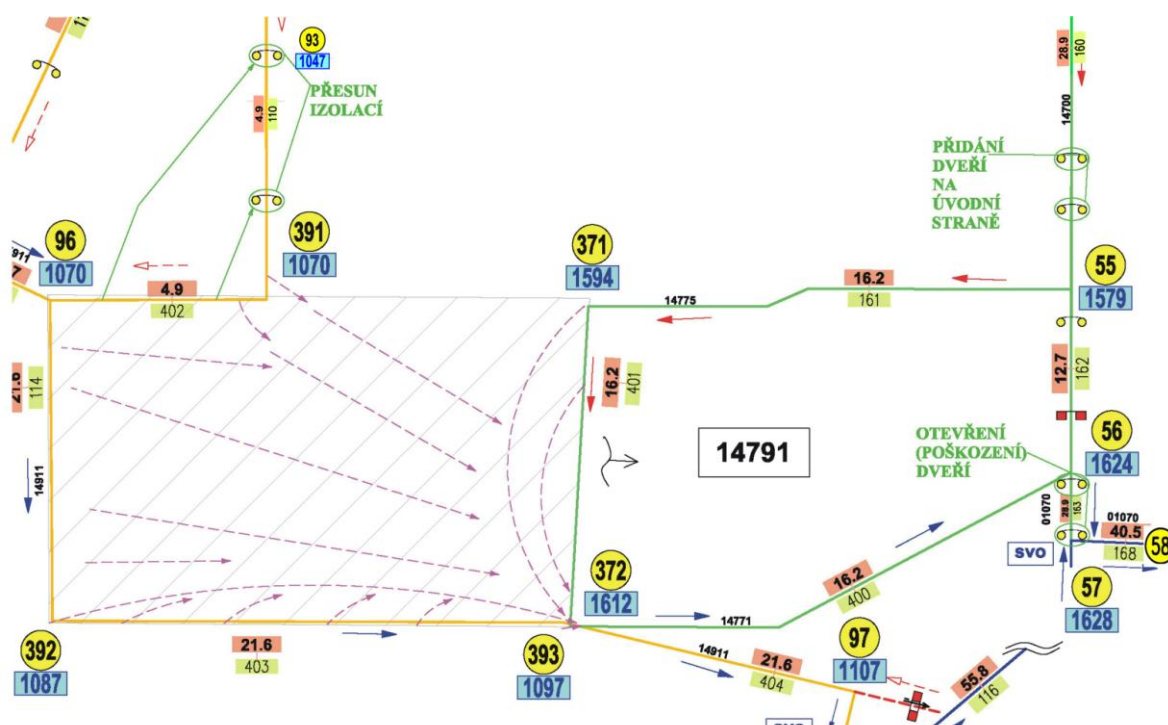
Propočet je graficky znázorněn na obr. 5.

Je patrné, že poškození nebo otevření dvojice dveří má na tlakové spády mezi sledovanými body zcela rozhodující vliv. Tlakové spády závalovým prostorem (mezi uzly 372 a 393) rostou až k hodnotám kolem 400 Pa. To jsou hodnoty, které mají vliv na průtahy i při krátkodobém současném otevření dvojice dveří a mohou fungovat jako „dmychadlo“, které pulzně napouští čerstvé větry do závalových prostor.

Ověřit vliv tohoto „otevření dveří“ matematickým simulováním aerodynamického odporu regulačních dveří, které zajistí shodný objemový průtok větrů SVO jde propočítat umístěním negativní regulace ve větvi č. 60, tedy v úvodní části SVO. Předpoklad je takový, že po roztěsnění dveří ve větvi č. 163, které je simulováno způsobem uvedeným v předchozím odstavci, nedojde k nárůstu objemového průtoku, neboť ten bude regulován větrními dveřmi ve větvi č. 160. Propočet je graficky znázorněn na obr. 6.

Z výsledků je zřejmé, že objemový průtok větrů zůstal zachován, ale tlakový spád mezi sledovanými body 372 a 393 se ještě zvýšil. Matematickým modelováním je doloženo, jak lze nevhodně umístěnou větrní regulací významně negativně ovlivnit depresní poměry ve větrní síti, a tím vytvářet příznivé podmínky pro průtahy větrů stařinami.





obr. 6 Přidání dveří na úvodní straně

Je tedy potřebné stanovit další opatření. Jako nejlepší se jeví instalovat na dvojici dveří čidla kontroly uzavření dveřních křídel, anebo ještě lépe, čidla, která budou kontinuálně měřit tlakový spád mezi body před a za dvojicí větrných dveří, a která nám ukazují okamžitý stav regulačních větrných objektů.

#### 5.4.2 Zvýšení nebo snížení deprese HV

Vliv zvýšení deprese HV na stav ve větrné síti lze opět sledovat modelováním v příslušném programu změnou matematického zadání charakteristiky ve větvi č. 181 (vtažná jáma č. 2). Pro demonstraci byla změněna původní hodnota deprese ventilátoru z 2350 Pa na 3500 Pa.

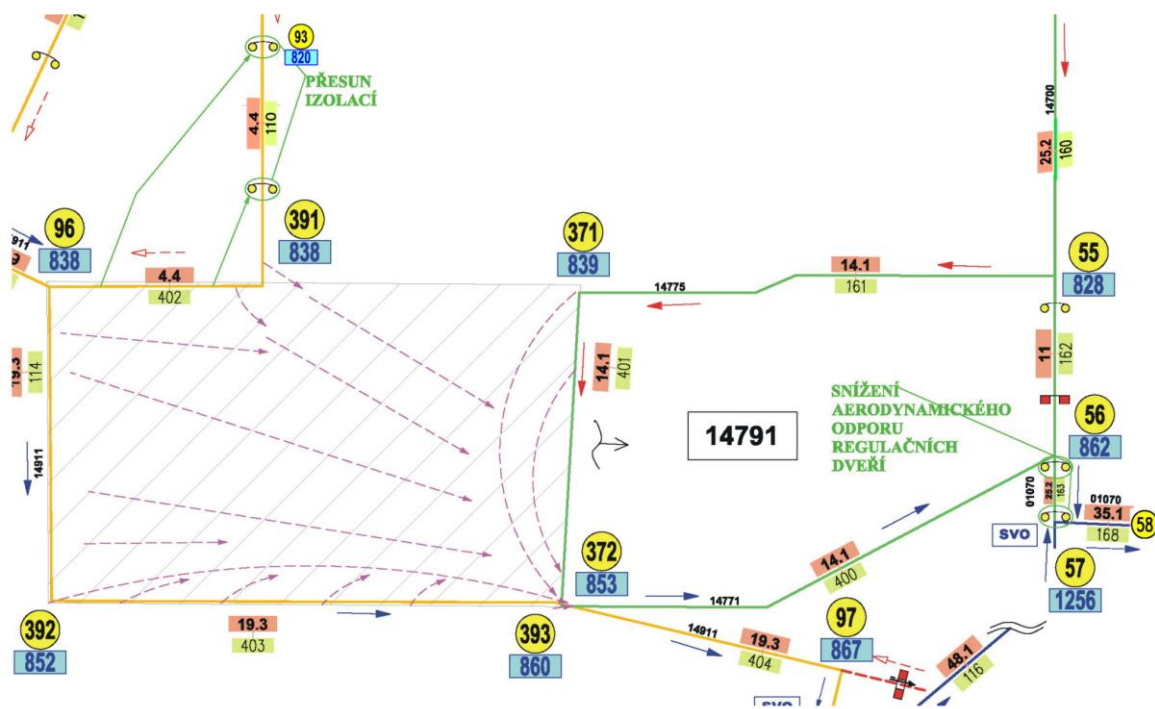
Výsledek provedeného propočtu je graficky znázorněn na obr. 7.

Z obrázku je zřejmé, že tlakový rozdíl mezi body 393 a 372 se zvýšil oproti navrženému stavu z 1 na 10 Pa a mezi body 391 a 371 ze 7 na 21 Pa.

Přesto, že se nejedná o hodnoty nikterak významné, je potřebné se jimi zabývat, neboť si jistě lze představit situace odlišné od předloženého příkladu, ve kterých bude nárůst tlakových rozdílů na předpokládaných komunikacích významnější.







obr. 8 Snížení deprese HV (z 2350 Pa na 1800 Pa)

## 5.5 Obecná formulace postupu zamezení průtahů větrů

V předcházející analýze bylo demonstrováno, jakým způsobem lze využít program SIT verze 2.39 k řešení optimalizace větrání v oblastech ohrožených samovznícením uhelné hmoty.

Postup, jak omezit nepříznivé vlivy průtahů na proces samovznícení uhlí, popř. jeho obnovení, pak bude stejný a lze jej již předběžně formulovat takto:

1. Proměřit depresní snímek postižené oblasti (nejlépe i celého dolu) před zpřístupněním požářiště.
2. Analyzovat stav horninového masívu, rozložení tlakových spádů posuzované oblasti a vytipovat možné větrné komunikace.
3. Navrhnout opatření, jak omezit nebezpečné průtahy důlních větrů pro fáze před zpřístupněním, v průběhu zpřístupnění a po zpřístupnění požářiště (např. jak ukázaly výpočty v kapitole 5.3, lze docílit zamezení průtahů větrů snížením aerodynamického odporu na konci SVO a přemístěním izolací tak, aby se snížil tlakový spád v kritické části SVO).
4. Na matematickém modelu ověřit správnost stanovených opatření.
5. Realizovat opatření v dole.
6. Ověřit správnost realizovaných opatření měření v dole.

## **6 Zpřístupňování uzavřeného porubu č. 28731 zasaženého samovznícením uhelné hmoty**

Při dobývání uhelných slojí náchylných k samovznícení může za určitých okolností dojít ke vzniku důlního požáru. Většina ložisek takto vzniklých požárů je situována v závalových prostorech porubů, kde se nacházejí zbytky rozdrčené a neodtěžené uhelné hmoty.

Ke vzniku rizikového jevu samovznícení uhelné hmoty je zapotřebí přivádět k ohnisku požáru kyslík, který je součástí proudícího důlního ovzduší. K proudění vzdušin závalovým prostorem může docházet zkratovými větry přes rozrušený horninový masív vlivem dobývání porubů v jiných, vzájemně se ovlivňujících oblastech (nadložní sloje, podložní sloje, okolní poruby atd.). Přívod kyslíku do závalových prostor může také nastat vlivem dynamických účinků čerstvého větrního proudu přiváděného vtažnou chodbou k porubu. Zde pak platí, že čím větší je rychlost vtažných větrů, tím hlouběji do závalu budou větry proudit.

Když se nepodaří snížit přísun kyslíku k požářišti a nepodaří se proniknout k ohnisku požáru a uhasit ho, je nutno přistoupit k uzavření porubu na jeho vtažné i výdušné straně uzavíracími hrázemi. Tím dojde k postupnému zamezení oxidace uhelné hmoty a k uhašení vzniklého požáru.

Hlavní problém pak nastane tehdy, když jsme z různých důvodů nuceni tento uzavřený prostor – porub znovu otevřít. Znovuotevřením přivedeme do prostoru k požářišti kyslík a samovzněcovací proces má šanci znovu propuknout. Proto musíme uzavřený porub otevírat velice obezřetně. Lze k tomu použít několik variant postupu:

1. Snížení aerodynamického odporu izolace základny.
2. Nasazení foukacího lutnového tahu (FLT) beze změn v izolaci na základně.
3. Kombinace prvních dvou případů – Nasazení FLT a snížení aerodynamického odporu izolace základny.

4. Pomocí různých plent, resp. hrázek usměrňovat vtažný větrný proud tak, aby co největší jeho část proudila kolem porubu a ne do závalu.

První tři varianty by měly v co největší možné míře snížit depresní namáhání porubu a tím i jeho závalového prostoru. Snížením depresního namáhání porubu dosáhneme i snížení rychlosti proudění důlního ovzduší vtažnou třídou a porubem (snížení dopravovaného objemového průtoku a jeho dynamických účinků). Čtvrtá varianta sleduje příklonění směru proudění vtažných větrů k porubní stěně a tím také ke snížení objemového průtoku větrů proudících do závalu. Důsledkem bude také menší proudění části těchto větrů závalovým prostorem. Tím se zároveň sníží přísun kyslíku do závalového prostoru s cílem zamezit opětovné iniciaci nežádoucí oxidace uhelné hmoty.

## **6.1 Popis situace porubu č. 28731**

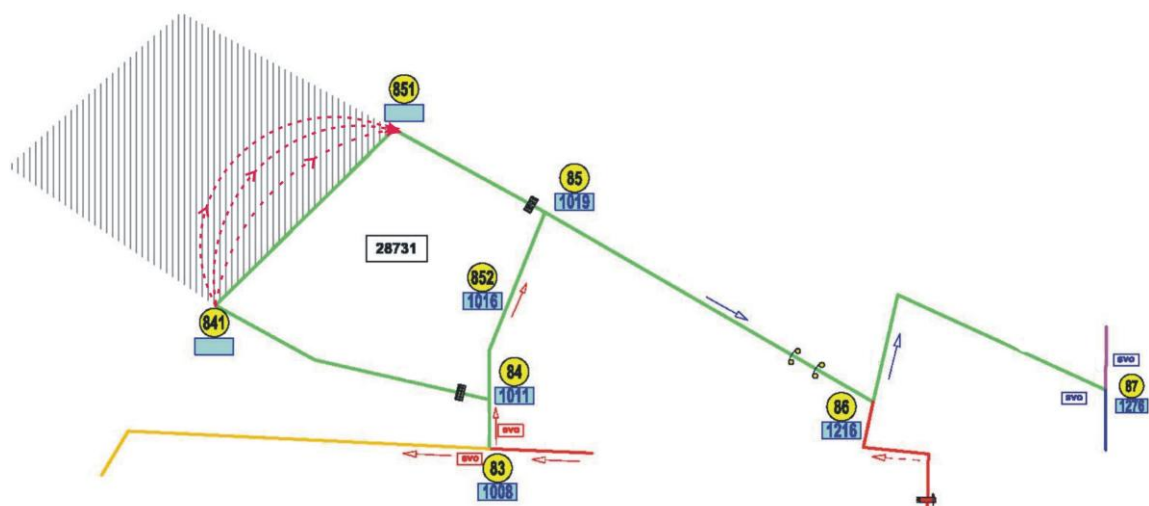
Pro analýzu větrní sítě po otevření uzavíracích hrází byl jako vzor vybrán uzavřený porub č. 28731, na Dole Karviná, závod ČSA, Ostravsko-karvinského revíru (obr. 9). Veškerá modelování proběhla na zjednodušené větrní síti s rozsahem jednoho samostatného větrního oddělení, která je pro tento účel a pro takto izolovaně situovaný porub dostatečná.

Při dobývání porubu došlo k překročení limitní hodnoty oxidu uhelnatého. Následovala neúspěšná inertizace dusíkem a zatápění závalu. Takže porub byl výbuchuvzorně uzavřen uzavíracími hrázemi. Po určité době bylo rozhodnuto porub znovu otevřít.

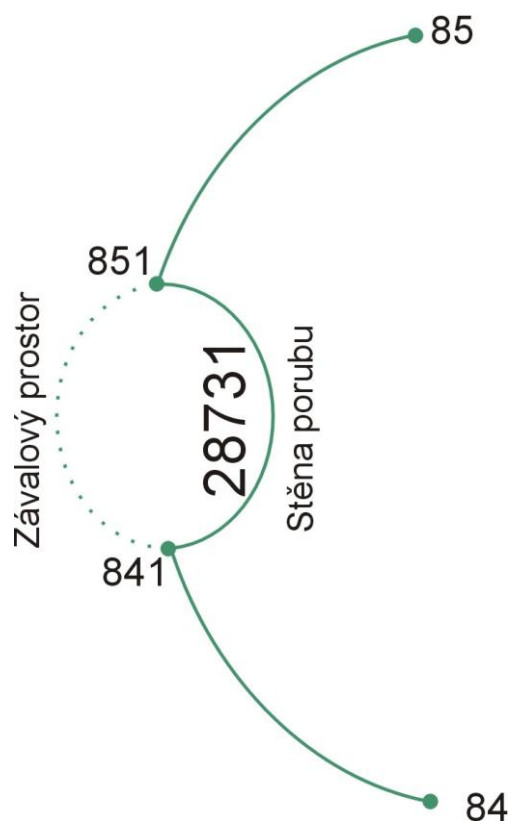
V blízkosti porubu se nenacházela ani v minulosti žádná dobývaná pracoviště v horizontálním ani vertikálním směru, dalo se tedy předpokládat, že k průtahům větrů závalovým prostorem po opětovném otevření porubu dojde jedině v důsledku proudění čerstvých větrů, přiváděných vtažnou třídou za účelem větrání porubu (obr. 9). Výpočet proudění v této části SVO je uveden v tabulce 2. Následující analýza má za úkol navrhnout taková opatření, která tyto možné průtahy větrů co nejvíce sníží.

## LEGENDA:

- DÍLA V SVO 39.SLOJE
- DÍLA V SVO 37.SL.
- ÚVODNÍ DÍLA
- DÍLA ZKRATŮ MIMO SVO
- DÍLA OSTATNÍCH SVO
  
-  VĚTRNÍ DVEŘE IZOLAČNÍ ZDĚNÉ
-  VĚTRNÍ DVEŘE REGULAČNÍ DŘEVĚNÉ
- ÚVODNÍ VĚTRY
- VÝDUŠNÉ VĚTRY
- > ZKRATOVÉ VĚTRY
  
- SVO ZAČÁTEK SVO
- SVO KONEC SVO
- Č. ČÍSLO UZLOVÉHO BODU
- depr. DEPRESE V UZLOVÉM BODĚ (Pa)
- Q OBJEMOVÝ PRŮTOK VĚTRŮ VĚTVÍ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
- Č. ČÍSLO VĚTVY



obr. 9 Uzavřený porub 28731 v lokalitě Jan-Karel Dolu ČSA



obr. 10 Výřez poruby č. 28731

Tabulka 2 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 před zpřístupněním (regulace na konci SVO)

Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 před zpřístupněním (regulace na konci SVO)							
Číslo větve	Uzlový bod 2	Uzlový bod 2	R	$Q_v$	p1	p2	$\Delta p$
			$[g \cdot m^{-7}]$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	$[Pa]$	$[Pa]$	$[Pa]$
1	1000	83	0	12,1	0	0	0
2	83	84	0,02049	12,1	0	-3	3
6	84	852	0,03278	12,1	-3	-7,8	4,8
7	852	85	0,02186	12,1	-7,8	-11	3,2
8	85	86	1,34554	12,1	-11	-208	197
9	86	87	0,28148	14,6	-208	-268	60
10	1000	86	33,27997	2,5	0	-208	208
11	1000	87	0,28435	30,7	0	-268	268
13	87	1000	0	45,3	-268	0	0

#### Ventilátory

Číslo větve	A0	A1	A2	A3	$Q_v$	$D_{pv}$	$P_v$
13	268	0	0,00E+00	0,00E+00	45,3	268	12,1

Snižování depresního namáhání poruby je omezeno hodnotou objemového průtoku větrů porubem potřebného pro ředění metanové exhalace na koncentraci 1%  $CH_4$

povolenou bezpečnostními předpisy (BP). Dalším omezujícím faktorem je podkročení rychlosti větrů zamezujících tvorbě metanových vrstev.

**Tabulka 3 Základní informace o dané lokalitě**

Porub	28731		
Lokalita	Jan Karel		
Kra	8	Sloj:	37
Mocnost	čistá		3,1
	dobývaná $h_d$		3,1
Výztuž v porubu	FAZOS-15/31-Oz M1		
rovnice plochy porubu dle DPB Paskov	Sp=3,37md-2,14		
profil v porubu $S_{por} \cdot h^2$	8,3		
profil výdušné chodby $S_{vch} \cdot h^2$	14,5		
šířka rozšíření pro likvidaci porubu $\bar{s}_{roz} \cdot h$	2,5		
profil rozšíření pro likvidaci porubu $h_d \cdot \bar{s}_{roz} \cdot S_{roz} \cdot h^2$	7,8		
profil v porubu při likvidaci $S_{por} + S_{roz} \cdot S_{porlik} \cdot h^2$	16,1		

### Kontrola rychlosti větrů zamezující tvorbu metanových vrstev dle typizační Směrnice FMPE č. 1826/1986:

K zamezení vzniku metanových vrstev musí být splněna tato podmínka:

$$v \geq v_m \quad (19)$$

$$v = \frac{Q_v}{S} \cdot h^3 \cdot s^{-1} \geq v_m = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot c \cdot \sqrt{S}} \cdot h^3 \cdot s^{-1}$$

Kde:

$v$	- rychlost větrů v důlním díle	$h \cdot s^{-1}$
$v_m$	- mezní rychlost větrů	$h \cdot s^{-1}$
$Q_v$	- objemový průtok	$h^3 \cdot s^{-1}$
$c$	- koncentrace $CH_4$ v důlním díle	$\%$
$S$	- plocha průřezu důlního díle	$h^2$



**Tabulka 4 Mezní rychlost větrů pro zamezení tvorby metanových vrstev**

Důlní dílo	c	S	v <sub>m</sub>
	$\frac{1}{\%}$	$\text{h}^2$	$\text{h} \cdot \text{s}^{-1}$
porub	0,1	16,1	<b>0,37</b>
výdušná chodba	0,3	14,5	<b>0,62</b>

Objemový průtok větrů pro dodržení mezní rychlosti větrů:

$$Q_{\text{por}} = \frac{Q_0}{k_z} \quad \text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (20)$$

Kde:

$$Q_{\text{por}} \quad - \text{objemový průtok větrů porubem} \quad \text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_0 \quad - \text{objemový průtok větrů na výdušné chodbě} \quad \text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$k_z \quad - \text{koefficient ztrát větrů závałem} \quad [-]$$

**Tabulka 5 Objemový průtok větrů pro dodržení mezní rychlosti větrů**

pro mezní rychlost v porubu					pro mezní rychlost ve výd. chodbě		
v <sub>mpor</sub>	S <sub>por</sub>	Q <sub>por</sub>	k <sub>z</sub>	Q <sub>01</sub>	v <sub>mvch</sub>	S <sub>vch</sub>	Q <sub>02</sub>
$\text{h} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{h}^2$	$\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	-	$\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{h} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{h}^2$	$\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
0,37	16,1	5,9	1,05	<b>6,2</b>	0,62	14,5	<b>8,9</b>

**Potřebný objemový průtok větrů pro porub:** **5,9**  $\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

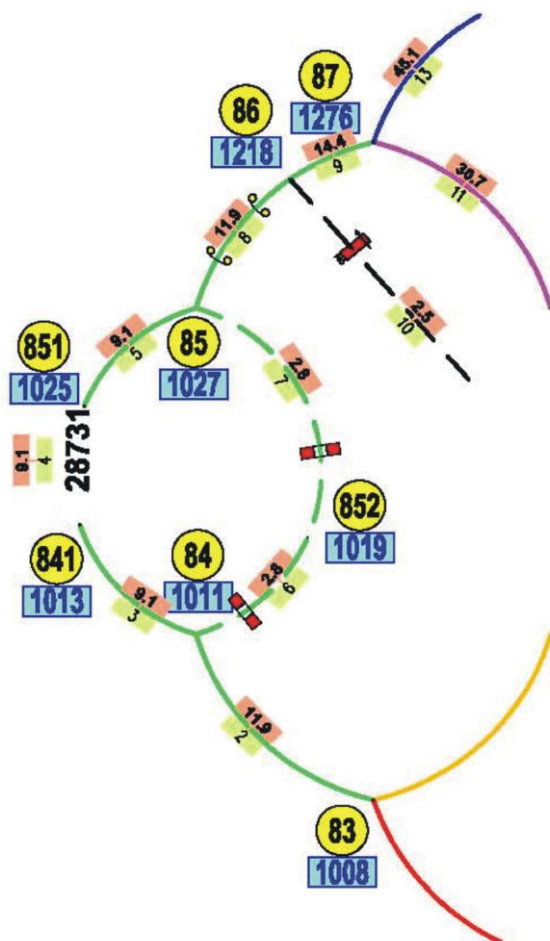
**Potřebný objemový průtok větrů pro výdušnou chodbu (max z Q0):** **8,9**  $\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Po dosazení do vzorce 1 vychází mezní rychlost větrů v porubu  $0,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a ve výdušné chodbě  $0,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Při splnění těchto mezních rychlostí nebude docházet k tvorbě metanových vrstev. Pokud tyto rychlosti dosadíme do vzorce 2, dostaneme výsledky objemových průtoků pro mezní rychlosti, a to porubu  $5,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , s připočtením 5% ztrát větrů závałem pak  $6,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (malé ztráty lze předpokládat s ohledem na

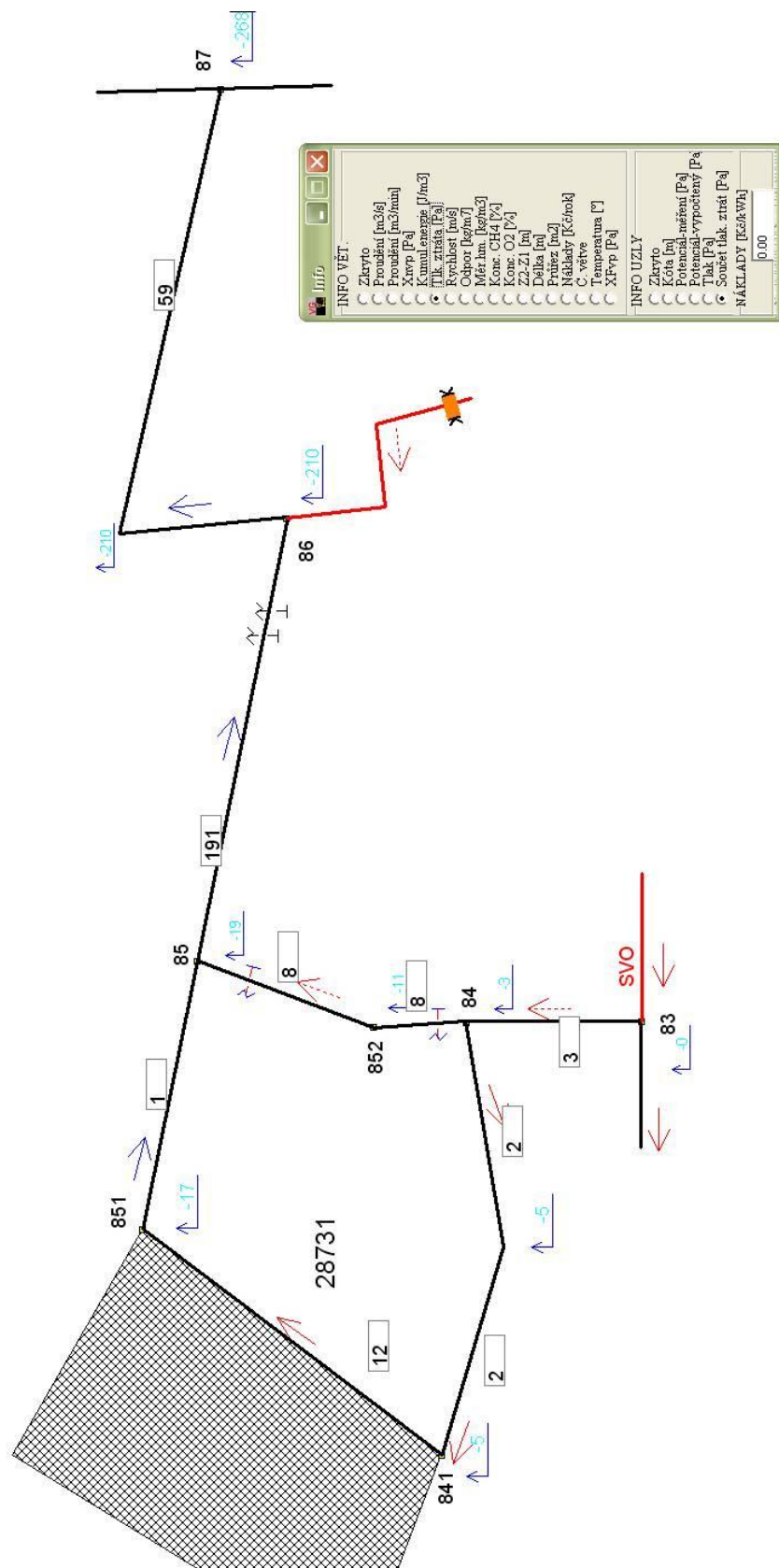
předpokládané utěsnění závalového prostoru např. hrázkami s pěnových hmot, náběhovými plentami apod.) a ve výdušné chodbě  $8,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Po první simulaci otevření hrází byl dosažen objemový průtok větrů v porubu  $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Vyšší dosažený objemový průtok větrů v porubu než potřebný ( $9,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oproti  $6,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) je příznivý pro zlepšení podmínek na pracovišti. (obr. 11).

V podmínkách zpřístupněného požářiště se tato skutečnost dá využít pro snížení depresního namáhání závalového prostoru, tedy snížení tlakového spádu mezi body 841 a 851 (viz tabulka 6). Tato možnost vychází ze skutečnosti, že pro nižší objemový průtok větrů vedený dílem daného aerodynamického odporu je potřebný nižší tlakový spád. Pokud se tedy při výpočtu dostaneme na mezní objemový průtok větrů, sníží se nám i tlakové namáhání závalu.



obr. 11 Zpřístupnění porubu č. 28731 (odstraněny hráze) – SVO po znovuzpřístupnění (výchozí stav)



obr. 12 Zpřístupnění poruby č. 28731 (odstraněny hráze) – SVO po znovuzpřístupnění  
(výchozí stav) – Ventgraph

Na obr. 12 jsou zaznamenány výpočty provedené v programu Ventgraph. Hodnoty v rámečkách představují jednotlivé tlakové ztráty mezi příslušnými uzlovými body a hodnoty u šipek ukazují součet tlakových ztrát v uzlových bodech.

**Tabulka 6 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 po zpřístupnění (regulace na konci SVO – pouze odstraněny hráze)**

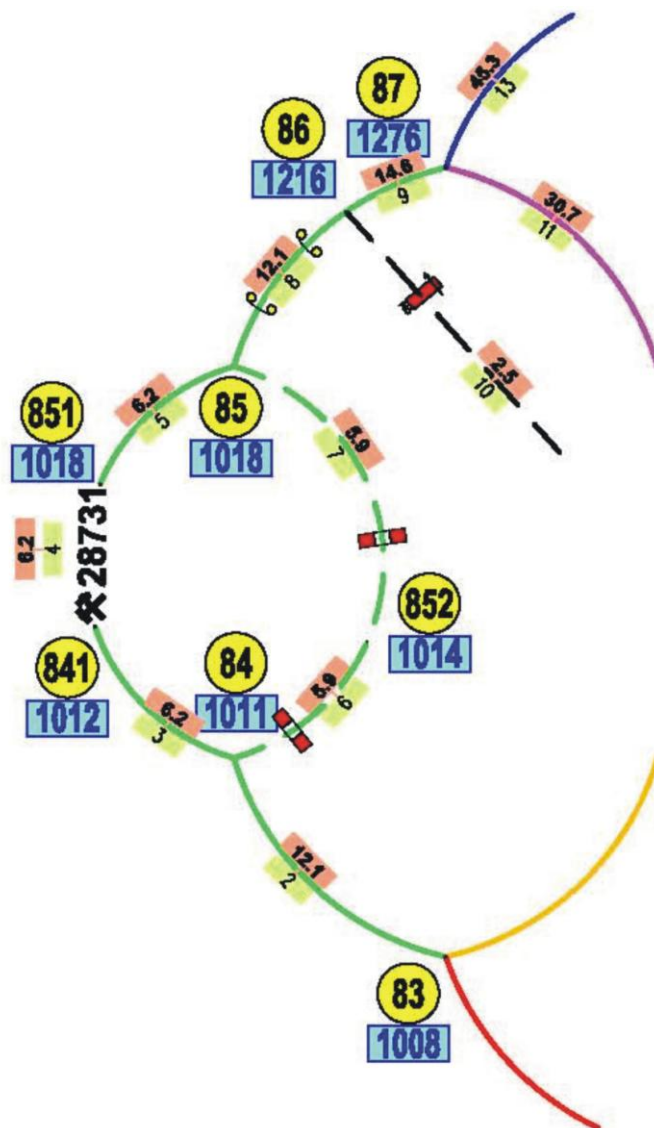
Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 po zpřístupnění (regulace na konci SVO)							
Číslo větve	Uzlový bod 2	Uzlový bod 2	R	$Q_v$	p1	p2	$\Delta p$
			$\text{g} \cdot \text{m}^{-7}$	$\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Pa	Pa	Pa
1	1000	83	0	11,91	0	0	0
2	83	84	0,02049	11,91	0	-2,9	2,9
3	84	841	0,02381	9,14	-2,9	-4,9	2
4	841	851	0,14853	9,14	-4,9	-17,3	12,4
5	851	85	0,01638	9,14	-17,3	-18,7	1,4
6	84	852	1,03278	2,77	-2,9	-10,8	7,9
7	852	85	1,02186	2,77	-10,8	-18,7	7,9
8	85	86	1,34554	11,91	-18,7	-209,5	190,8
9	86	87	0,28148	14,42	-209,5	-268	58,5
10	1000	86	33,27997	2,51	0	-209,5	209,5
11	1000	87	0,28435	30,7	0	-268	268
13	87	1000	0	45,12	-268	0	0

Ventilátory

Číslo větve	A0	A1	A2	A3	$Q_v$	$D_{pv}$	$P_v$
13	268	0	0,00E+00	0,00E+00	45,12	268	12,1

## 6.2 Snížení aerodynamického odporu základny

Abychom mohli snížit rychlost proudění důlního ovzduší, objemový průtok a zároveň tak i depresní namáhání závalu, musíme snížit aerodynamický odpor základny (obr. 13).



obr. 13 Snížení aerodynamického odporu základny

Propočet této možnosti ukázal, že objemový průtok větrů porubem je v intencích potřeb ( $6,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a tlakový rozdíl v porubu se snížil na 6 Pa a tím se rovněž o 50% snížilo depresní namáhání závalového prostoru. Toto řešení však s sebou přináší dva problémy:

- Snížením objemového průtoku větrů tímto způsobem dojde logicky ke snížení objemového průtoku větrů i výdušnou chodbou, a pokud je potřebný objemový průtok větrů výdušnou chodbou vyšší než porubem, jako je to v našem případě, narazíme na problémy s jeho nedodržením. Tento problém se může v našem případě řešit umístěním duvek popř. volných ventilátorů pro zvýšení rychlosti větrů a tím snížení rizika tvorby metanových vrstev, neboť potřebný objemový průtok větrů výdušnou chodbou byl stanoven právě s ohledem na eliminaci tohoto nebezpečí, jak plyne z výpočtu v tabulce 5.
- V případě dobývání pod úrovní nejnižšího patra, tak jako v našem případě, je nutné dostát ustanovení §93 odst. 3 vyhlášky č. 22/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí, ve znění pozdějších předpisů, které zní: „Na dole II. třídy nebezpečí může být při podpatrovém dobývání v každém samostatném větrném oddělení jeden porub nebo dobývka. V důlních dílech spojujících vtažné a výdušné větry uvnitř takového větrného oddělení musí být postaveny v místech určených plánem otvírky, přípravy a dobývání hrázové objekty.“ Problém spočívá v tom, že snižování aerodynamického odporu výbuchuvzdorné izolace lze provádět pouze omezeně přidáváním průvětrníků do izolačního objektu. Otevření takového objektu z pohledu výše citovaného ustanovení bezpečnostního předpisu nepřichází v úvahu.

### 6.3 Nasazení FLT beze změny odporu izolace základny

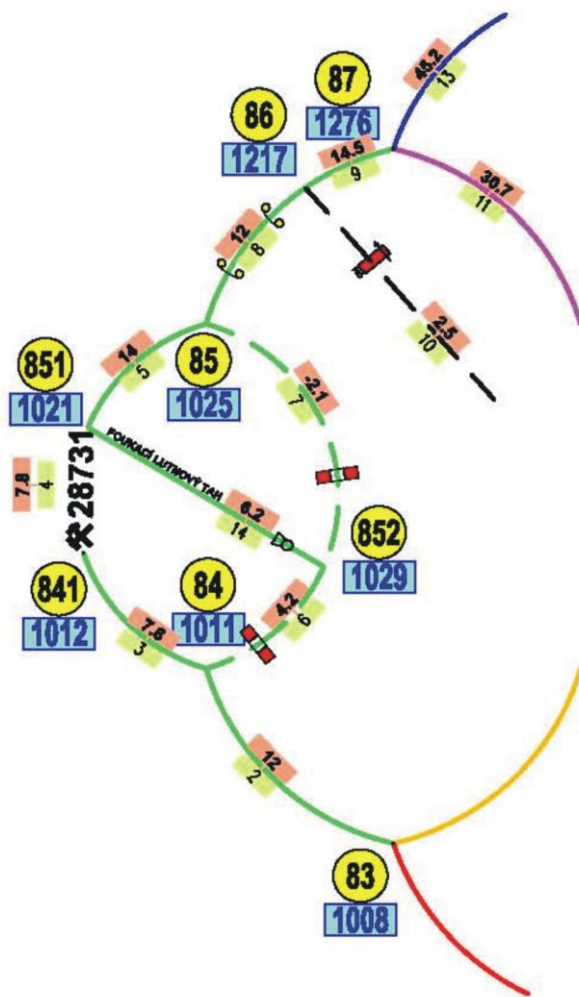
Nasazením FLT (obr. 14) se rovněž sníží depresní namáhání závalového prostoru a navíc se zachová, popř. zvýší objemový průtok větrů na výdušné chodbě a je tedy z tohoto hlediska opatřením lepším než pouhé snížení odporu izolace základny. Propočet této situace je uveden v tabulce 7. Dalším kladem tohoto opatření je skutečnost, že výdušné větry porubu jsou „občerstveny“ důlními větry vycházejícími z FLT a tím se zlepší podmínky na této chodbě.

**Tabulka 7 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 nasazení FLT**

Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 nasazení FLT							
Číslo větve	Uzlový bod 2	Uzlový bod 2	R	$Q_v$	p1	p2	$\Delta p$
			$\text{g} \cdot \text{m}^{-7}$	$\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Pa	Pa	Pa
1	1000	83	0	11,96	0	0	0
2	83	84	0,02049	11,96	0	-2,9	2,9
3	84	841	0,02381	7,79	-2,9	-4,4	1,5
4	841	851	0,14853	7,79	-4,4	-13,4	9
5	851	85	0,01638	14,02	-13,4	-16,6	3,2
6	84	852	1,03278	4,18	-2,9	-20,9	18
7	852	85	1,02186	-2,06	-20,9	-16,6	-4,3
8	85	86	1,3554	11,96	-16,6	-209,1	192,5
9	86	87	0,28148	14,47	-209,1	-268	58,9
10	1000	86	33,27997	2,51	0	-209,1	209,1
11	1000	87	0,28435	30,7	0	-268	268
13	87	1000	0	45,17	-268	0	0
14	852	851	9,012	6,24	-20,9	-13,4	1,2

Ventilátory

Číslo větve	A0	A1	A2	A3	$Q_v$	$D_{pv}$	$P_v$
13	268	0	0,00E+00	0,00E+00	45,17	268	12,1
14	-233,3	1005,476	-146	0	6,24	352,6	2,2



obr. 14 Nasazení FLT

Při této variantě způsobu otvírání porubu může ale také dojít, jako v předchozím případě, k následujícímu problému:

- Nebezpečí recyklace výdušných větrů. Jedná se o problém, kdy v důsledku nedostatečného objemového průtoku větrů v místě ventilátoru foukacího lutnového tahu, dochází k nasávání výdušných větrů z porubu tímto ventilátorem a jejich opětovné vedení na výdušnou úvrať porubu.

## 6.4 Nasazení FLT a snížení aerodynamického odporu izolace na základně

Abychom předešli problémům uvedených v prvních dvou případech, musíme do třetí varianty otvírání porubu zahrnout následující dvě možnosti:



- [illegible]

49

**Tabulka 8 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 – nasazení FLT a snížení odporu izolace základny**

Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 – nasazení FLT a snížení odporu izolace základny							
Číslo větve	Uzlový bod 2	Uzlový bod 2	R	$Q_v$	p1	p2	$\Delta p$
			$\text{g} \cdot \text{m}^{-7}$	$\text{h}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Pa	Pa	Pa
1	1000	83	0	12,07	0	0	0
2	83	84	0,02049	12,07	0	-3	3
3	84	841	0,02381	6,3	-3	-3,9	0,9
4	841	851	0,14853	6,3	-3,9	-9,8	5,9
5	851	85	0,01638	11,77	-9,8	-12,1	2,3
6	84	852	0,08382	5,77	-3	-5,8	2,8
7	852	85	0,12884	0,3	-5,8	-12,1	6,3
8	85	86	1,34554	12,07	-12,1	-208,2	196,1
9	86	87	0,28148	14,57	-208,2	-268	59,8
10	1000	86	33,27997	2,5	0	-208,2	208,2
11	1000	87	0,28435	30,7	0	-268	268
13	87	1000	0	45,27	-268	0	0
14	852	851	30,012	5,47	-5,8	-9,8	4

Ventilátory

Číslo větve	A0	A1	A2	A3	$Q_v$	$D_{pv}$	$P_v$
13	268	0	0,00E+00	0,00E+00	45,27	268	12,1
14	-233,3	1005,476	-146,00	0,00E+00	5,47	895,5	4,9

Použitím těchto dvou způsobů bylo dosaženo snížení objemového průtoku větrů přes porub (tudiž i závalovým prostorem). Nasazením FLT ve zkratu porubní základny se zamezí tvorbě metanových vrstev na výdušné chodbě, protože pomocí FLT jsou přiváděny čerstvé větry ze začátku SVO. Z obrázku 15 a tabulky 8 je tedy patrné, že kombinací obou způsobů snížení depresního namáhání stařin je dosaženo nejlepšího výsledku z hlediska větrání pracoviště i z hlediska eliminace nebezpečí průtahu závalovým prostorem.

## 6.5 Konečný návrh regulace větrání pro zpřístupněné požářiště

Z takto provedené analýzy vychází opatření, která je možné v dole realizovat:

- minimalizace objemového průtoku větrů porubem až na hranici, která bude vyhovovat ustanovením bezpečnostního předpisu,
- nasazení foukacího lutnového tahu ve zkratu porubní základny (v našem případě je nejvhodnější použít ventilátor APXK 630 a flexibilní lutny o průměru 630 mm),
- regulace objemového průtoku větrů zkratem základny tak, aby nedocházelo ke zvratu větrů vlivem foukacího lutnového tahu,
- regulace objemového průtoku větrů foukacím lutnovým tahem tak, aby objemový průtok větrů porubem byl dostatečný.

Všechna tato opatření lze dále vhodně doplnit o monitoring složení důlního ovzduší ve vhodných místech, např. v místě ventilátoru foukacího lutnového tahu. Z výsledného konkrétního řešení lze vyslovit i jeden obecný závěr, týkající se negativní regulace ve větrné síti:

*V oblastech ohrožených samovznícením uhelné hmoty se regulační větrní objekty pro snížení objemového průtoku větrů musí stavět v místech, kde nezvýší pravděpodobnost průtahu větrů stařinami.*

## 7 Analýza naměřených hodnot z Dolu Karviná, závod ČSA v programu Ventgraph

Pro účely podrobné analýzy výpočtů za použití polského softwaru Ventgraph jsem provedl měření suchých teplot  $t_s$  a relativních vlhkostí  $\varphi$  na Dole Karviná, závodě ČSA. Toto měření bylo uskutečněno v průběhu 3. čtvrtletí 2008 jako součást depresního měření.

Výsledky jsem následně zpracoval a vyrovnal v programu Ventgraph nekompresibilním propočtem a pro kontrolu v programu SIT, verze 2.39.

**Tabulka 9 Ukázka výpočtů v programu Ventgraph a v programu SIT**

Číslo větve	Uzlový bod 1	Uzlový bod 2	$Q_{v1}$	$Q_{v2}$	$\Delta Q_v$	$\Delta p_1$	$\Delta p_2$	$\Delta p$
			$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{Pa}$	$\text{Pa}$	$\text{Pa}$
200	210	211	26,69	26,7	0,01	82	81,9	-0,1
201	260	210	4,98	5,0	0,02	6	6	0
202	211	212	28,29	28,3	0,01	73	73	0
203	212	213	28,39	28,4	0,01	21	21	0
204	213	214	33,39	33,4	0,01	40	40	0
205	214	216	38,39	38,4	0,01	46	46	0
207	216	223	27,3	27,3	0	27	27	0
211	218	219	33,6	33,6	0	116	116	0
212	218	222	5,1	5,1	0	526	525,9	-0,1
213	220	221	33,6	33,6	0	63	63	0
214	219	220	10	10,0	0	166	165,9	-0,1
215	882	220	23,6	23,6	0	149	149	0
216	221	222	40,3	40,3	0	181	180,9	-0,1
217	222	225	22,7	22,7	0	26	26	0
218	222	228	22,7	22,7	0	51	51	0
219	223	225	31,7	31,7	0	199	198,9	-0,1
220	227	223	4,4	4,4	0	13	13	0

$Q_{v1}$  objemový průtok z programu SIT, verze 2.39

$Q_{v2}$  objemový průtok z programu Ventgraph

$\Delta p_1$  tlaková ztráta z programu SIT, verze 2.39

$\Delta p_2$  tlaková ztráta z programu Ventgraph

V tabulce 9 uvádím částečné porovnání výsledků výpočtů v obou programech po nekompresibilním propočtu. Sloupce  $\Delta Q_v$  a  $\Delta p$  v tabulce znázorňují rozdíly vypočítaných objemových průtoků a tlakových ztrát v jednotlivých větvích. Tento propočet je proveden na základě stejných vstupních dat do obou programů, a to konkrétně aerodynamických odporů v jednotlivých větvích větrní sítě, stanovených na základě depresního měření v dole a hlavních depresí ventilátorů.

Po této první analýze a zhodnocení výsledků jsem provedl kompresibilní výpočet, který je již možno využít k simulaci proudění větrní sítě v anomálních podmínkách – např. vznik důlního požáru v reálné větrní síti. Kompresibilní propočet větrní sítě v programu Ventgraph je v příloze č. 1.

Dále jsem zpracoval prostorové schéma větrní sítě Dolu Karviná, závodu ČSA, které je v příloze č. 2 doktorské disertační práce. Grafické znázornění nekompresibilního výpočtu je znázorněno na kanonickém schématu větrní sítě v příloze č. 3. Hodnoty naměřených suchých teplot ( $t_s$ ) a relativních vlhkostí ( $\varphi$ ) jsou uvedeny v příloze č. 4.

Při samotném modelování důlního požáru ve větrní síti v podprogramu POŽÁR je nutno zadávat i délky jednotlivých důlních děl, aby mohl program reálně prognózovat časové intervaly postupu požárních zplodin. Tyto hodnoty jsem získal ze základní polohové mapy dolu v měřítku 1:3000.

Do programu Ventgraph lze zadávat různé parametry určující větrní síť. Typy parametrů pro zadávání větrní sítě jsou následující:

- tlak absolutní (střední pro větev nebo měřený v uzlových bodech)
- počáteční průtok (zadaný pro větev nebo vypočtený z měření v uzlových bodech)
- odpor větví (zadaný přímo nebo vypočtený)
- délka větví (nutná pro výpočet odporů z geometrie větví)
- průřez větví (zadaný pro větev nebo vypočtený z měření v uzlových bodech)
- převýšení (počítá se automaticky po zadání výškových kót)
- typ větve (W – ventilátor, D – přítok, T – izolační objekt, R – regulátor)
- teplota suchá a mokrá

- koeficient odporu  $\lambda$  (využíván při výpočtech odporů z geometrie větví)

Podle toho, které veličiny a data máme právě k dispozici, zvolíme způsob zadávání. U některých zadávaných parametrů můžeme zvolit, že je nebudeme zadávat vůbec.

V prostorovém schématu větrní sítě můžeme sledovat různé parametry jednotlivých větví a jednotlivých uzlových bodů. U uzlových bodů si můžeme nastavit výškovou kótu, barometrický tlak, nebo součet tlakových ztrát (ve schématu se tato informace objeví u modré šipky, která je u každého uzlového bodu).

V jednotlivých větvích si můžeme vybrat z více parametrů, jako jsou např. objemový průtok, tlaková ztráta, rychlost proudění, aerodynamický odpor, hustota, délka předmětného důlního díla, průřez důl, díla, teplota, převýšení a číslo větve (ve schématu je tato informace zobrazena v rámečku u příslušné větve sítě).

## 8 Přirozený větrný tah

Přirozené větrání dolu je větrání bez použití prostředků umělého větrání. Proudění důlního ovzduší je vyvoláno rozdílem hmotnostních sloupců vtažného a výdušného díla. Rozdíl hustot důlních větrů vzniká z rozdílu teplot vtažných a výdušných větrů. Do jisté míry může působit i vliv rozdílů vlhkosti a chemického složení důlních větrů.

Přirozený větrný tah je dán obecným vztahem [10]:

$$p_n = H \cdot (\rho_{vt} - \rho_{v\dot{y}d}) \cdot g \quad \text{Pa} \quad (21)$$

Kde:

$H$  - výškový rozdíl  $\text{m}$

$\rho_{vt}$  - hustota vtažných větrů  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$\rho_{v\dot{y}d}$  - hustota výdušných větrů  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$g$  - gravitační zrychlení  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Objemový průtok větrů proudících v důsledku přirozeného tahu bude podle [10]:

$$Q_n = \sqrt{\frac{H \cdot (\rho_{vt} - \rho_{v\dot{y}d}) \cdot g}{R}} \quad \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (22)$$

Kde:

$R$  - aerodynamický odpor  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-7}$

V dnešní době se podle [1] musí doly OKR větrat pouze umělým způsobem, a to konkrétně sacím větráním. Ovšem i při tomto způsobu větrání, kdy je celkové proudění důlního ovzduší způsobeno ventilátory, existuje a hlavně působí ve větrní síti dolu přirozený větrný tah.

Přirozený větrný tah může působit souhlasně (spolupracuje kladně s hlavním větráním) s umělým větráním dolu, nebo nesouhlasně (působí proti hlavnímu větrání dolu).

Na základě naměřených hodnot z dolu Karviná, závod ČSA lze teoreticky odvodit spolupráci přirozeného větrního tahu s hlavním větráním dolu.

Základními parametry pro tento rozbor jsou naměřené hodnoty suchých teplot a kompresibilní propočet větrní sítě.

Teplota na povrchu:		18,8 °C
Relativní vlhkost:		51%
Barometrický tlak:		102000 Pa
Deprese ventilátorů - výdušná jáma:	ČSA 3	3169 Pa
	Doubrava III	2727 Pa
	Eleonora	3020 Pa

**Tabulka 10** Tabulka části výpočtu při teplotě 18,8 °C a původní depresi ventilátorů

Číslo větvě	Uzlový bod 1	Uzlový bod 2	$\rho$	$Q_v$	$\Delta p$
			$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{Pa}$
0	1	1A	1,21	212,3	0
1	1A	2	1,24	207,3	565,4
2	2	3	1,28	196,1	150,4
3	3	4	1,30	162,8	57,5
4	3	7	1,29	6,2	10,2

Následující tabulka ukazuje změnu hustot důlního ovzduší  $\rho$ , objemových průtoků  $Q_v$  a depresí  $\Delta p$  při změně teploty ve dvou vtažných uzlech (v uzlovém bodě 1A z 18,8°C na -5°C a v uzlovém bodě 2 z teploty 21°C na -2°C)

**Tabulka 11** Tabulka části výpočtu při částečné změně teploty a původní depresi ventilátorů

Číslo větvě	Uzlový bod 1	Uzlový bod 2	$\rho$	$Q_v$	$\Delta p$
			$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{Pa}$
0	1	1A	1,33	257	0
1	1A	2	1,36	250,3	824,6
2	2	3	1,34	244,2	233,2
3	3	4	1,30	202,7	88,8
4	3	7	1,29	4,7	147,3

Teplota na povrchu:	-5 °C
Relativní vlhkost:	51%



Barometrický tlak:		102000 Pa
Deprese ventilátorů - výdušná jáma:	ČSA 3	2535,2 Pa
	Doubrava III	2181,6 Pa
	Eleonora	2416 Pa

**Tabulka 12** Tabulka části výpočtu při částečné změně teploty a snížení deprese ventilátorů o 20%

Číslo větve	Uzlový bod 1	Uzlový bod 2	$\rho$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$Q_v$ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\Delta p$ $\text{Pa}$
0	1	1A	1,33	242,8	0
1	1A	2	1,36	236,6	736,4
2	2	3	1,34	230,5	207,7
3	3	4	1,30	190,4	78,7
4	3	7	1,29	23,4	146,2

Z následujících tabulek 10, 11 a 12 je zřejmé, že program Ventgraph lze používat i k řízení depresí hlavních ventilátorů při změně teploty ovzduší. Dalo by se toho výhodně využít při sloučení hlavního větrání dolu s přirozeným větrným tahem. Porovnání tabulek 10 a 11 ukazuje, že při změně teploty na povrchu dojde vlivem přirozeného větrního tahu k navýšení depresí ve větvích sítě a zvýšení objemových průtoků větrů. Pokud ale snížíme depresi hlavních ventilátorů (např. o 20 %), tak při zachování snížené teploty dojde k poklesu depresí v uzlových bodech a taktéž ke snížení objemových průtoků.

Důležitou podmínkou pro tento způsob výpočtu a zasahování do hlavních depresí ventilátorů je počítat s případnou změnou teploty ve všech uzlových bodech, obzvláště pak v uzlových bodech hlavních vtažných a výdušných jam. Tím se ve výpočtu projeví celkový vliv přirozeného větrání na celou větrní síť.

## 9 Vliv důlního požáru při sestupném vedení větrního proudu

Přítomnost ohně ve svislých a úklonných dílech, kterými proudí požární zplodiny, vzniká tepelný vztlak, jehož hodnota je výrazně závislá na intenzitě a lokalitě ohně a na výškovém rozdílu díla, ve kterém oheň vznikl, nebo v němž požární zplodiny postupují. V takových případech může dojít k obrácení větrního proudu, a to nejen v dílech větraných úpadně, ale i v dílech větraných dovrchně. Nebezpečí obrácení větrního proudu nehrozí v dílech, ve kterých oheň vznikl, ale v jejich paralelních větvích. Nejvyšší hodnoty tepelného vztlaku při dovrchním způsobu větrání se vyskytují v nejnižších místech úklonného důlního díla a u sestupného větrání naopak v nejvyšších částech úklonného důlního díla.

Vlivem tepla, které vznikne při důlním požáru, mohou tedy nastat změny v rozložení objemových průtoků ve větrní síti, zastavení nebo obrácení směru větrního proudu. To může mít za následek zamoření důlních děl a také to může komplikovat záchranné práce v zasažených lokalitách.

### 9.1 Výpočet tepelného vztlaku

Tepelný vztlak je dán obecně vztahem [13]:

$$\Delta p_v = g \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot \Delta h \quad \text{[Pa]} \quad (23)$$

Kde:

$$\Delta p_v \quad \text{[Pa]} \quad \text{- tepelný vztlak}$$

$$\rho_1, \rho_2 \quad \text{[g} \cdot \text{m}^{-3}] \quad \text{- hustota vzdušín před a za požářištěm}$$

$$\Delta h \quad \text{[m]} \quad \text{- výškový rozdíl místa ohně od nejbližšího uzlu větrní sítě, případně od místa, kde dochází k ochlazení větrů na téměř původní teplotu}$$

$$g \quad \text{[m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad \text{- gravitační zrychlení}$$

Z obecného vzorce 23 vyplývá, že hodnota tepelného vztlaku při stejném výškovém rozdílu je závislá hlavně na hustotě větrů proudících z požární zóny. Hustota je určena

ohřevem větrů v požářišti a jejich ochlazováním v průběhu cesty. Teplota větrního proudu za ohněm je ovlivňována několika činiteli [11]:

- vlastní teplota větrů v požární zóně,
- vzdálenost požadovaného místa od požární zóny a teplota hornin v tomto úseku,
- velikost profilu chodby,
- rychlost proudění větrů.

Dále potom:

$$\rho_{1,2} = \frac{p}{r \cdot T_{1,2}} \quad \left[ \text{g} \cdot \text{m}^{-3} \right] \quad (24)$$

Kde:

$p$  - barometrický tlak  $\left[ \text{Pa} \right]$

$r$  - měrná plynová konstanta  $\left[ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \right]$

$T_{1,2}$  - střední teplota vzdušin před a za požářištěm  $\left[ \text{K} \right]$

Teplotu  $t_{l2}$  důlního ovzduší ve vzdálenosti  $l$  od požářiště lze vypočítat ze vztahu:

$$t_{l2} = t_h + (t_0 - t_h) \cdot e^{-0,00083 \frac{k \cdot O \cdot l}{S \cdot v}} \quad \left[ \text{C} \right] \quad (25)$$

Kde:

$t_h$  - teplota hornin  $\left[ \text{C} \right]$

$t_0$  - teplota v požářišti  $\left[ \text{C} \right]$

$O$  - obvod důlního díla  $\left[ \text{m} \right]$

$S$  - průřez důlního díla  $\left[ \text{m}^2 \right]$

$l$  - délka důlního úseku  $\left[ \text{m} \right]$

$v$  - rychlost větrního proudu  $\left[ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right]$

$k$  - součinitel ochlazování  $\left[ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \right]$

Podle [12] se součinitel ochlazování  $k$  stanoví podle vztahu:

$$k = 1,630 + 10,142 \cdot v \quad \text{[W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (26)$$

Průběh teploty za požářištěm ale není lineární, proto tedy střední teplotu  $t_2$  není možné stanovit jako aritmetický průměr koncové a počáteční teploty za požářištěm. Lze ji vypočítat z následujícího vztahu:

$$t_2 = \int_0^l \left( \frac{t_h + t_0 - t_h}{l} e^{-0,00083 \frac{k \cdot l}{S \cdot v}} \right) dl \quad \text{[}^\circ\text{C]} \quad (27)$$

$$\text{a } T_2 = 273,15 + t_2 \quad \text{[K]} \quad (28)$$

Hodnotu tepelného vztlaku při důlním požáru v úklonném díle na základě těchto odvození můžeme vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$\Delta p_v = \frac{g \cdot p \cdot (T_2 - T_1)}{r \cdot T_1 \cdot T_2} \cdot \Delta h = \frac{g \cdot p \cdot \Delta h}{r} \cdot \frac{T_1 - T_2}{273,15 + T_1} \cdot \frac{1}{273,15 + T_2} \quad \text{[Pa]} \quad (29)$$

Z tohoto vztahu lze vyvodit následující úvahu. Pokud hodnota tepelného vztlaku je vyšší než hodnota tlakového spádu vyvolaného hlavním důlním ventilátorem, kterou je zajištěn tlakový spád předmětné větrné oblasti, dojde při vzniku důlního požáru k obrácení směru větrního proudu v dané oblasti.

## 9.2 Zvrat větrního proudu

V důsledku důlního požáru vzniká tepelný vztlak, jehož směr působení může být souhlasný se směrem tlakového spádu vyvolaného hlavním důlním ventilátorem nebo nesouhlasný. Na základě této úvahy můžeme důlní požáry rozdělit do tří skupin [13]:

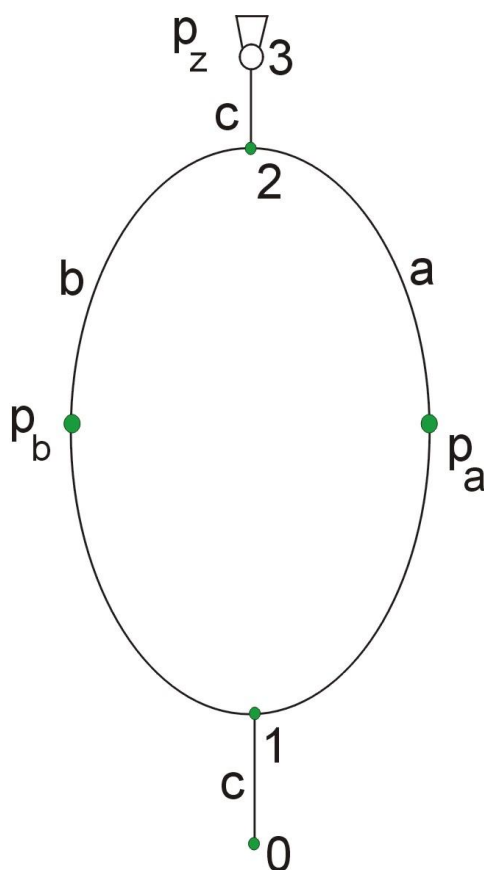
1. Důlní požáry, jejichž tepelný vztlak působí souhlasně s tlakovým spádem hlavního ventilátoru.
2. Důlní požár, jehož tepelný vztlak působí proti směru tlakového spádu hlavního ventilátoru, přičemž hodnota tepelného vztlaku je menší než hodnota tlakového spádu hlavního ventilátoru.

3. Důlní požár, jehož tepelný vztlak působí proti směru tlakového spádu hlavního ventilátoru a jeho hodnota je vyšší než hodnota tlakového spádu hlavního ventilátoru.

Důlní požáry, které patří do první skupiny, vznikají v dovrchně vedeném větrném proudu a požáry z druhé a třetí skupiny vznikají v úpadně vedeném větrném proudu. Druhá skupina požárů jsou většinou požáry ve stupni rozhořívání a můžou přejít do třetí skupiny.

### 9.3 Možné varianty zvratu větrního proudu

Následující obrázek (obr. 16) znázorňuje rozmístění tepelných vztlaků ( $p_a, p_b$ ) a celkového tlakového spádu v sestupně vedeném větrném proudu (např. při podpatrovém dobývání) [11].



obr. 16 Schéma tepelného vztlaku v sestupně vedeném větrném proudu

Kde:

$p_z$  - celkový tlakový rozdíl vnější soustavy

$p_a$

$p_a$	- tepelný vztlak ve větvi <b>a</b> s výskytem požáru	$[Pa]$
$p_b$	- tepelný vztlak ve větvi <b>b</b> , který se však vyskytuje jen tehdy, procházejí-li větví <b>b</b> požárem oteplené větry	$[Pa]$
$R_a$	- Aerodynamický odpor ve větvi <b>a</b>	$[g \cdot m^{-7}]$
$R_b$	- Aerodynamický odpor ve větvi <b>b</b>	$[g \cdot m^{-7}]$
$R_z$	- Aerodynamický odpor vnější soustavy	$[g \cdot m^{-7}]$

Z obrázku lze odvodit 3 základní situace, kdy může dojít ke zvratu proudění důlních větrů

1. a)  $p_z > p_a > p_b$   
b)  $p_z > p_b > p_a$
2. a)  $p_a > p_z > p_b$   
b)  $p_b > p_z > p_a$
3. a)  $p_a > p_b > p_z$   
b)  $p_b > p_a > p_z$

K obrácení proudu ve větvi **a** při situaci **1. a)** dojde tehdy, platí-li vztah:

$$\frac{p_z - p_b}{p_a - p_b} < 1 + \frac{R_z}{R_b} \quad (30)$$

K obrácení proudu ve větvi **b** při situaci **1. b)** dojde tehdy, platí-li vztah:

$$\frac{p_z - p_a}{p_b - p_a} < 1 + \frac{R_z}{R_a} \quad (31)$$

K obrácení proudu ve vnější části sítě při situaci **2. a)** dojde tehdy, platí-li vztah:

$$\frac{p_a - p_b}{p_z - p_b} > 1 + \frac{R_a}{R_b} \quad (32)$$

K obrácení proudu ve vnější části sítě při situaci **2. b)** dojde tehdy, platí-li vztah:

$$\frac{p_b - p_a}{p_z - p_a} > 1 + \frac{R_b}{R_a} \quad (33)$$

Při situaci 3 dojde vždy k obrácení větrů ve vnější části a vtažná jáma se v tu chvíli stane výdušnou. Při situaci 3. a) zůstává směr větrů ve větvi **b** stejný a budou do ní proudit požární zplodiny. V situaci 3. b) zůstává směr větrů stejný ve větvi **a**, v tu chvíli do ní budou proudit požární zplodiny.

## 10 Důlní požáry ohrožující tlakové spády ve větrné síti

Prvotním nebezpečím důlních požárů je především výstup toxických plynů do uzavřeného důlního prostředí s dopadem na zdraví a životy pracovníků, druhotným nebezpečím je pak možná iniciace zapálení metanu nebo uhelného prachu. Podle zdroje vzniku mohou důlní požáry vzniknout z vnitřních (endogenních) nebo vnějších (exogenních) příčin.

Důlní požáry z vnitřních příčin vznikají v důsledku samovznícení uhelné hmoty a jsou průvodním jevem technologie dobývání uhlí. Dosud známá a přijímaná opatření, zejména pak využití měřicí techniky pro kontinuální sledování oxidu uhelnatého v důlním ovzduší, podstatně snížila výskyt případů samovznícení, které by ohrožovaly bezpečnost práce a provozu, avšak možnému vzniku samovznícení uhelné hmoty nelze zcela zabránit. Český báňský úřad vyžaduje zpřísnění postupu při zařazování důlních děl z hlediska nebezpečí vzniku samovznícení a formou metodického pokynu stanovil opatření k včasnému zjišťování příznaků samovznícení. Jako preventivní i represivní opatření k omezení vzniku samovznícení uhelné hmoty se především využívá uzavírání vydobytych prostorů s následnou inertizací dusíkem. V roce 2004 bylo zaznamenáno celkem 9 případů vzniku samovznícení, což v porovnání s rokem 2003 představuje snížení o tři případy. (Podle tabulky 10, celkem o 5 případů, ale z toho 2 případy jsou na povrchu).

Důlní požáry z vnějších příčin vznikají většinou v důsledku porušení bezpečnostních předpisů při práci s otevřeným ohněm a jsou nebezpečné zejména tím, že probíhají velmi rychle, snadno se šíří a produkují značné koncentrace nedýchatelných a hlavně jedovatých zplodin. Kontrolu dodržování bezpečnostních pravidel pro práci s otevřeným ohněm provádí orgány státní báňské správy v rámci své inspekční a kontrolní činnosti a za zjištěné nedostatky jsou příslušným pracovníkům udělovány finanční sankce. V roce 2004, stejně jako v roce předcházejícím, nebyl zaznamenán žádný důlní požár způsobený z vnějších příčin.

Z příložené tabulky 10, převzaté z výroční zprávy ČBÚ za rok 2007 a [14], je zřejmé, že počet požárů v dole i na povrchu doznal od roku 1995 do roku 2007 významný pokles. Ze 46 případů v roce 1995 na 7 případů v roce 2007. Vzhledem k tomu, že příslušná zpráva ČBÚ neuvádí samostatnou kategorii požárů v dole, ale společnou



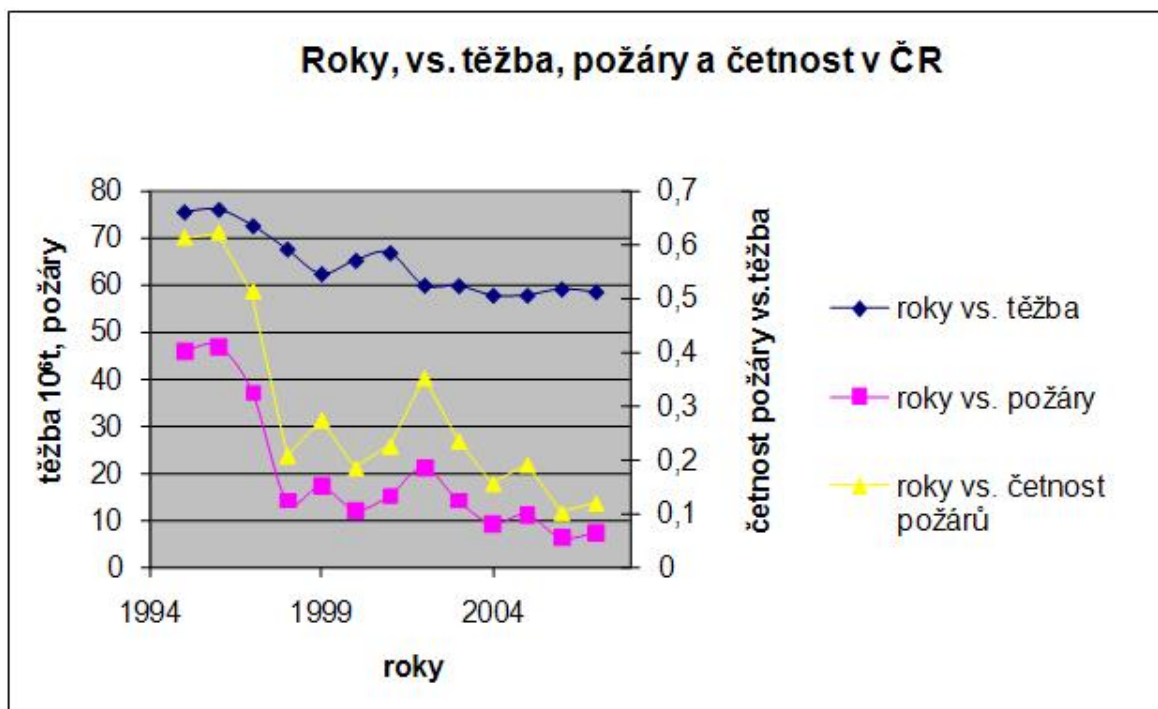
kategorii požáry v dole a na povrchu, nemohu uvést přesný počet požárů v dole, kterými se v této práci zabývám.

V roce 2007 došlo k mírnému nárůstu počtu mimořádných událostí v kategorii „Požáry v dole i na povrchu“, ve které bylo zaznamenáno 7 případů oproti 6 případům v roce 2006 (5x OKD a.s. - zvýšený obsah CO, 1x Kohinoor a.s., Důl Centrum a 1x Severočeské doly a.s., Doly Nástup, lom Libouš).

**Tabulka 13 Počet požárů v dole i na povrchu v dolech v působnosti ČBÚ.**

Roky (1)	Odbytová těžba $10^6$ t (2)	Počet požárů (3)	Četnost $\left(\frac{3}{2}\right) \cdot 10^6$
1995	75,3	46	0,61
1996	75,8	47	0,62
1997	72,4	37	0,51
1998	67,5	14	0,20
1999	62,3	17	0,27
2000	65,1	12	0,18
2001	66,7	15	0,22
2002	59,9	21	0,35
2003	59,8	14	0,23
2004	57,8	9	0,15
2005	57,8	11	0,19
2006	59,1	6	0,10
2007	58,5	7	0,11

Graficky je počet požárů ve vztahu k těžbě v jednotlivých letech uveden na obr. 17.



obr. 17 Počet požárů a jejich četnost ve vztahu k těžbě jednotlivých let na dolech ČR.

Podle [15] a dalších zdrojů je možno uvést některé následující vážnější případy důlních požárů, které nastaly z vnějších nebo vnitřních příčin.

#### Případy požárů z vnějších příčin:

24. 05. 1964 došlo na vtažné jámě tehdejšího dolu P. Cingr v OKD ke vzniku otevřeného ohně. Oheň zničil těžní lana, takže výjezd jámou byl znemožněn. Zplodiny hoření s koncentrací metanu 0,05 % byly vtažnými větry nasávány do dolu a ohrožily 47 pracovníků, kteří byli v té době v dole. Vedoucí likvidace havárie vydal příkaz k zastavení ventilátoru a směr proudění se vzniklou tepelnou depresí obrátil. Záchranáři pak vyvedli zaměstnance k výdušné jámě v poměrně čistých větrech a havárie tak skončila bez ztráty na životech.

Tak šťastný průběh už neměla obdobná havárie při požáru ve vtažné jámě 8. 08. 1956 na dole Bois-du Cazier v Marcinelle (Francie), při které zahynulo 256 horníků.

Na dole Dukla v OKR došlo 7. 07. 1961 ke vznícení pryže dopravního pásu na pásové chodbě. V tomto případě uzavřely zplodiny hoření s koncentrací 10,5 % CH<sub>4</sub>, 11,5 % CO<sub>2</sub>, a 0,8 % O<sub>2</sub> únikové cesty celkem 108 horníkům.

Na dole Stachanov, Východočeský uhelný revír (VUD) vznikl požár na úvodu vtažné úpadní jámy dne 10. 01. 1985. V té době bylo v dole 82 horníků. Brzy po vzniku požáru se vytvořilo v dole nedýchatelné ovzduší s nebezpečnou koncentrací CO. Prvním opatřením ke zmírnění následku požáru bylo uzavření požárních poklopů a omezení průniku škodlivin. Ale také díky ukrytí horníků v záchranných komorách a použití sebezáchranných přístrojů se jim podařilo s pomocí záchranných čet uniknout. Nikdo z nich neutrpěl újmu na zdraví.

### **Z případů požárů z vnitřních příčin je možno uvést alespoň příklady:**

Zápar na Dole čs. armády v Rynholci (kladenský uhelný revír). Zde došlo v říjnu 1952 k požáru ze samovznícení uhlé sloje, mocnosti asi 8 m, na křižovatce sběrné žlabové chodby a úpadnice. Požár se rozšířil natolik, že způsobil explozi. Zajímavostí u této havárie, která nakonec skončila vyražením téměř dvou třetin dolu z provozu je, že se kromě jiných složek směsi objevil před explozí i vodík a to v koncentraci až 8 %. Předpokládalo se, že vznikl na styku žhavé zásoby s vodou, která přitékala ze stařin.

Dalším příkladem je požár na dole Kateřina v Modřanech, Severočeský hnědouhelný revír, z 3. 01. 1963. Na tomto dole bylo větrání při malých depresních spádech a mnoha diagonálních spojení značně labilní. Důlní požár vznikl právě v diagonálním spoji mezi sousedními větrnými odděleními. Vlivem labilní větrní sítě došlo při úpadním větrání k zvratu proudění větrů v chodbě a husté kouře pronikly do vtažných větrných proudů, 15 horníků se nepodařilo zachránit.

Na dole Lazy v Orlové (OKR), došlo 5. 12. 1995 k prudkému zhoršení stavu záparu v porubu č. 139 702. Jednalo se o porub s vysokou mírou nebezpečí samovznícení. Podle tehdy platné směrnice č. 2/1991 a. s. OKD činila hodnota tam stanoveného kritéria  $M = 36$ . To znamenalo překročení hodnoty  $M = 30$  a tudíž sloj velmi nebezpečnou. V odebraném vzorku bylo zjištěno 77 ppm CO a kromě acetylénu byly přítomny všechny sledované vyšší uhlovodíky. Zápar se nepodařilo likvidovat přímým zásahem a muselo se přistoupit k uzavření požářiště hrázemi. Ty byly dokončeny 10. 12. 1995, bez vážnějších komplikací.

Z tohoto stručného přehledu požárů v dolech, vyplývá, že jejich vznik a příčiny vzniku lze shrnout do několika základních kritérií. Podle místa vzniku se také následky požáru mohou projevit.

Pokusil jsem se s využitím analýzy větrní sítě dolu Karviná, závod ČSA stanovit možnosti případného ohrožení a určit místa s předpokládaným vznikem důlního požáru.

Pro dokonalejší vypovídací schopnost takové analýzy jsem využil naměřených hodnot a propočetů tlakových spádů a umístění jednotlivých důlních děl ve větrní síti. Z toho lze vytipovat konkrétní případy, které mohou v případě vzniku důlního požáru způsobit zvrát důlních větrů ve větrní síti. To s sebou nese velice závažné problémy.

Analýzou větrní sítě dolu Karviná, závodu ČSA je možno podle případného ohrožení stanovit následující místa se vznikem důlního požáru.

1. Požár na pásové třídě na diagonále (mezioblastní).
2. Požár na úvodní třídě do oblasti podpatrového dobývání.
3. Požár ve slepé jámě (šibíku) – pokud je jich více, tak nejlépe s nejmenším tlakovým spádem.
4. Požár na výdušné třídě nebo vrchní úvrati porubu na kritické cestě.

## 10.1 Požár na pásové třídě na diagonále

Diagonálou se obecně rozumí nestabilní propojení ve větrní síti. Pokud se jedná o mezioblastní diagonálu, která spojuje dvě větrní oblasti, je do značné míry nejnebezpečnější pro velkou část dolu. Z hlediska bezpečnosti se snažíme větrání dolu rozvrhnout tak, že důl rozdělíme do malých částí tzv. SVO (samostatná větrní oddělení).

Jestliže při vzniku důlního požáru dojde na diagonále spojující dvě větrní oblasti ke zvratu důlních větrů, mohou se požární zplodiny dostat ze zasaženého místa do úvodního větrního proudu jiné větrní oblasti. Stabilita takové diagonály se posuzuje podle její depresní stability.

Jako příklad nedostatečné stability větrní sítě by mohl sloužit případ již zmíněné havárie na dole Dukla. Ta byla podle [16] narušena četnými zkratovými proudy, které jednak tvořily diagonální spoje, jednak snižovaly depresní rozdíly mezi uzlovými body v porubních polích. Vzájemné propojení větrních oddělení 8. a 11. sloje umožnilo proniknutí zplodin hoření z 11. do 8. sloje. Navíc byly části tohoto větrního oddělení zapojeny do oblasti dvou výdušných jam. Tak se mohlo stát, že vtažný proud do 8. sloje měl téměř stejnou absolutní depresi jako výdušný proud z 11. sloje, takže při tepelné depresi, vyvolané požárem v 11. sloji, došlo k mohutnému průniku kouřů směrem do 8. sloje. Tyto a další nedostatky ve stabilitě větrní sítě tak přispěly k velkému rozsahu havárie.

Rozbor této havárie i další případy obdobných nehod vedly k vypracování celé řady opatření, která by přispěla k větší spolehlivosti větrního systému.

Na příkladu dolu Karviná, dokazují teoretickým rozbořem vzniku možného požáru, jak by také mohla probíhat havárie při vzniku požáru na pásové třídě v podmínkách stabilnější větrní sítě.

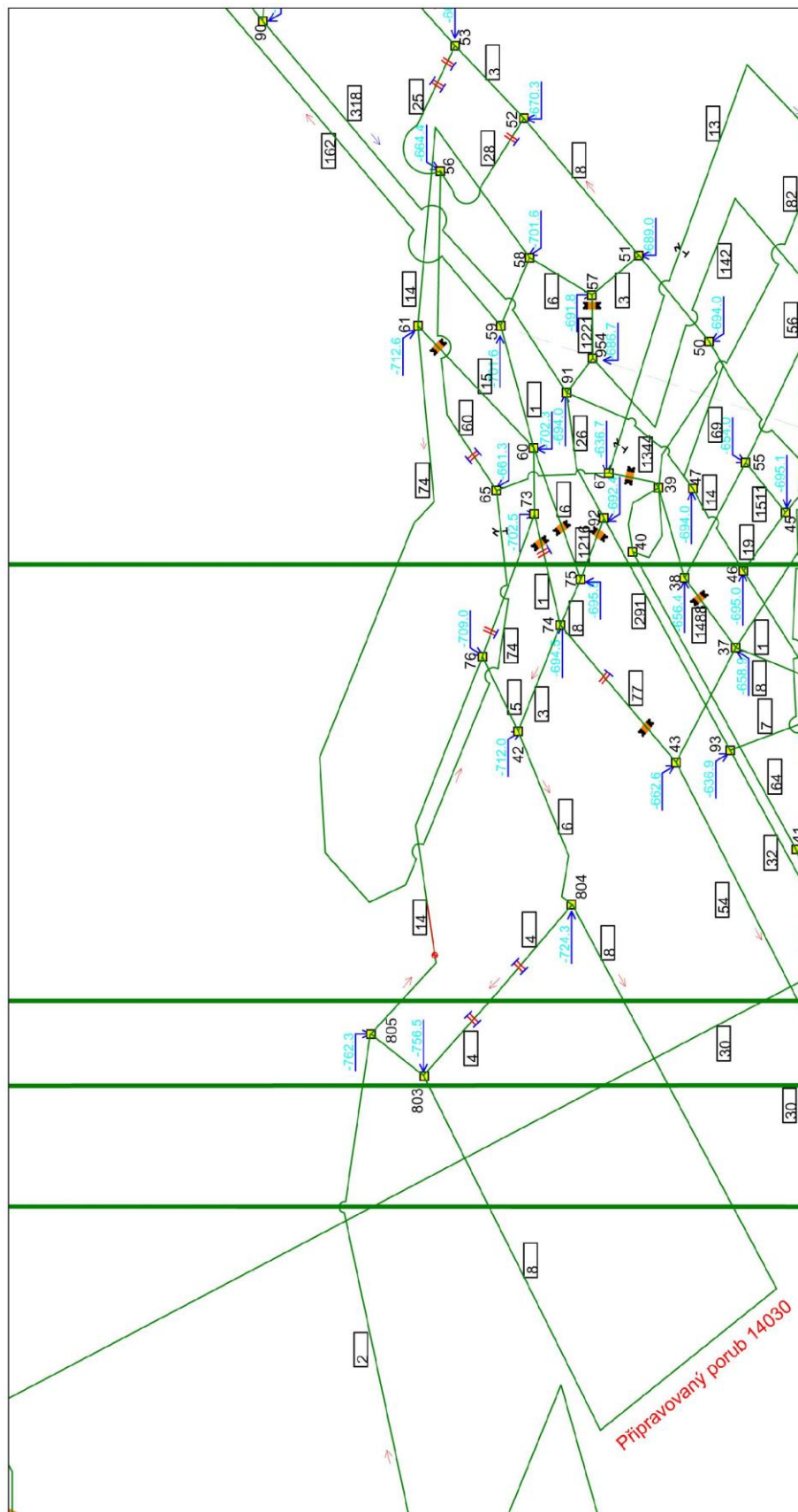
Z analýzy větrání dolu Karviná, závod ČSA můžeme za kritickou diagonálu zvolit mezioblastní diagonálu mezi body č. 59 a č. 254 (viz příloha 2 a 3). Úvod této diagonály jsou čerstvé větry z vtažné jámy Jan a jámy č. 2. Výdušná jáma pro tuto oblast je Doubrava III. V případě vzniku důlního požáru hrozí reálné nebezpečí zvratu důlních větrů a požární zplodiny by mohly zasáhnout úvod celé větrní oblasti odvětrávané výdušnou jámou ČSA III.

Větrná síť dané oblasti je dobře vyvážená a simulace v reálné síti nedovolí závažný zvrat větrů. Je to dáno především tím, že diagonála je negativně regulována mezi body č. 261 – č. 254, kde je spotřebována téměř třetina z celkové deprese této diagonály. Konkrétně jde o 327 Pa z celkových 994 Pa. K jedinému zvratu došlo ve větvi č. 227, která se nachází pod vtažnou jámou Eleonora a tlakový spád mezi počátečním a koncovým uzlem je pouze 4 Pa. Zvrat v této větvi ale nemá zásadní vliv na ostatní větve větrné sítě.

Jiná situace by mohla nastat, kdyby se snížila hodnota depresí v dané diagonále, nebo kdyby došlo k poklesu depresí výdušné jámy Eleonora a Doubrava III a k nárůstu deprese ventilátoru výdušné jámy ČSA III. Tento případ byl teoreticky namodelován a ke zvratu větrů v předmětné oblasti opravdu došlo.

Na následujícím obr. 18 je znázorněn možný případ zvratu větrů při změně depresí hlavních ventilátorů. K nejzávažnějšímu zvratu větrů došlo ve větvi před ohniskem požáru (před bodem č. 805) a ve větvi za ohniskem požáru (za bodem č. 805). K obrácení směru proudění došlo již po první půlminutě od vzniku požáru. Díky vztlaku, který způsobil požár, došlo ještě k dalším změnám směru proudění, a to celkem ve 28 větvích. Po 22 minutách od vzniku požáru (obr. 19) došlo k zamoření úvodu 11. patra a požární zplodiny se začaly šířit do 11. kry, která je z hlediska větrání na dole Karviná, závod ČSA velice kritická.

Pokud by se ve větvi 265, která je poslední výdušnou větví této diagonály, snížil aerodynamický odpor, tudíž deprese v této větvi, tomuto nežádoucímu zvratu větrů by se dalo zabránit. K dílčím zvrátům větrů by opět docházelo, ale ne v takové míře. Nedošlo by k ohrožení 11. kry a požární zplodiny by šly rovnou do výduchu důlního pole odvětrávaného výdušnou jámou Doubrava III.



obr. 18 Požár v mezioblastní diagonále při zvratu větrů





## 10.2 Požár na úvodní třídě do oblasti podpatrového dobývání

Podpatrovým dobýváním rozumíme dobývání uhelné sloje pod těžním patrem vzestupně na toto patro. Výhoda podpatrového dobývání podle [17] spočívá v úspoře nákladů na přípravné práce. Úspora času k provedení rozsáhlých přípravných a otvirkových prací je minimální. Proto nelze případné podpatrové dobývání, jako alternativu, například při přechodu na hlubší patro, úplně vyloučit.

Podpatrové dobývání má ale také řadu nevýhod, které nelze zanedbat. Kromě složitějšího řízení větrání je nutno věnovat zvláštní pozornost vodnímu režimu. Náklady na zachycení a čerpání vody jsou tím větší, čím více vody pohoří obsahuje. Také se musí brát ohled na zbylou vodu v opuštěné oblasti původního podpatrového dobývání po skončení těžby. Velmi nepříjemné je ovšem i ovlivnění hlavního těžního patra podrubáním dobývanou slojí (slojemi). Zvlášť kritická jsou místa plnicích stanic, jejichž posunovače a řetězové dráhy jsou velmi citlivé na změny sklonu. Ztížena je i doprava důlními vozy velkého objemu a použití trolejových lokomotiv je nemožné.

Příprava podpatrového dobývání se provádí buď s využitím úklonných nebo svislých děl. Značné nebezpečí při vzniku požáru hrozí v dílech vybavených dopravními pásy. Ale také další díla představují zdroj možného ohrožení.

Vlivem tepelné deprese je při otvírce úklonným dílem pravděpodobná změna směru proudění v úpadnici. Požární plyny mohou způsobit těžkosti v celé, značně rozsáhlé oblasti výdušné cesty. Kdyby požár na úvodní třídě dosáhl vysoké intenzity a depresní spády ve větrní síti byly nízké, nelze vyloučit případný zvrát větrů, který by mohl vážně ohrozit stav na těžním patře, kde zřejmě bude přítomno také větší množství pracovníků. Pro oba tyto vážné stavy může být úniková cesta svislým dílem nebo úpadnicí velmi nebezpečná.

Obecně lze stanovit tři základní nebezpečí, které představuje podpatrové dobývání:

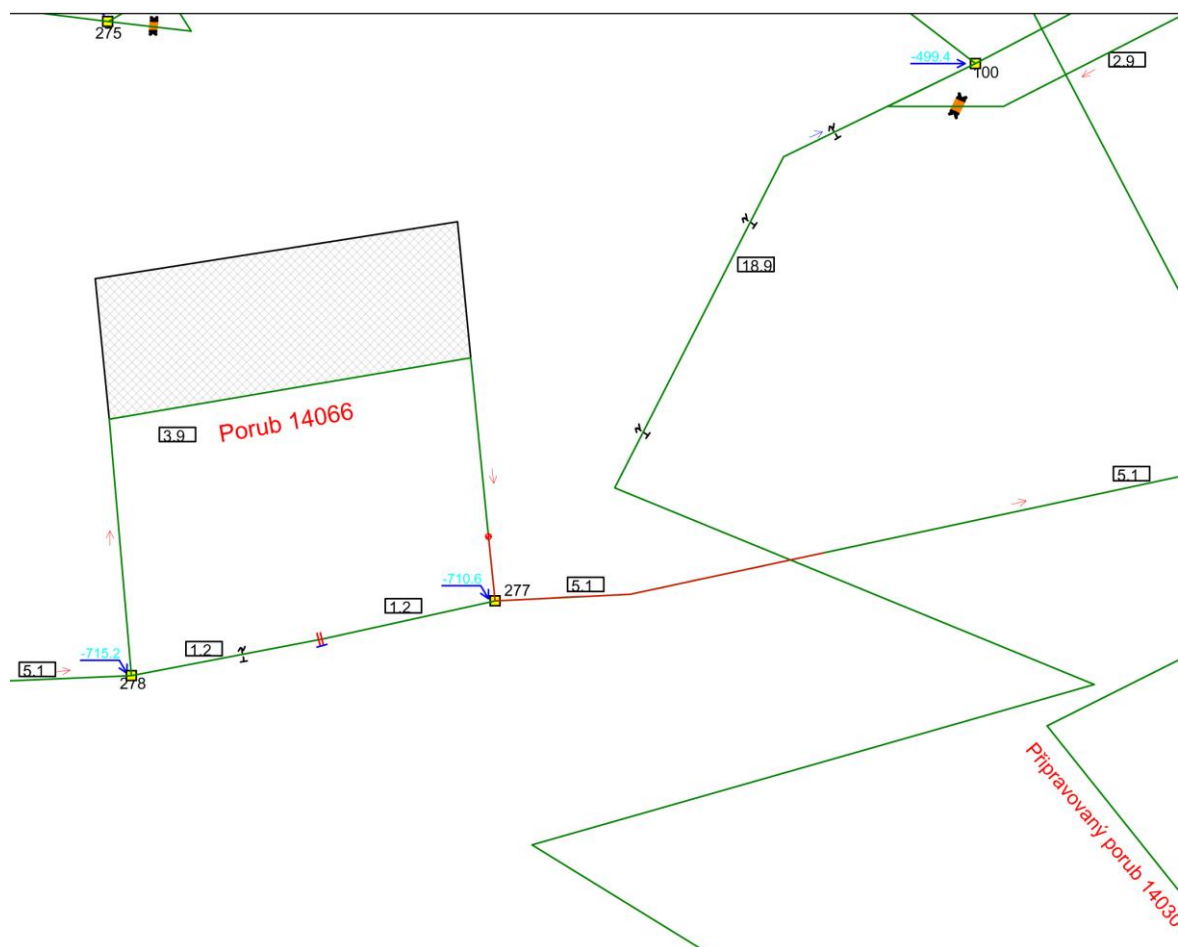
1. Z oblasti podpatrového dobývání je obtížná úniková cesta (jedná se hlavně o překonávání výškového rozdílu z těžního patra na poslední otevřené patro, která může být také ztížena při použití dýchacích přístrojů, kdy roste spotřeba kyslíku).

2. Zvrat větrů vlivem důlního požáru (může dojít k situaci, kdy zvrat větrů způsobí zhoršení klimatických podmínek na těžním patře a pokud by zde bylo hodně pracovníků, představovalo by to vysoké riziko).
3. Obtížné překonávání deprese vlivem teplotních rozdílů (těžní patro se nachází pod těžním patrem a s rostoucí hloubkou roste i teplota hornin. Při větrání porubu v této situaci musíme překonat přirozený větrný tah způsobený vlivem větší teploty v porubu a větší hloubky).

Závod ČSA podle schématu větrní sítě dobýval podpatrovým způsobem celkem tři poruby, konkrétně šlo o poruby 14030, 14066, a 11231. Tak jako při modelování požáru v diagonále, i tato situace v důsledku kvalitně řešené větrní sítě nevedla ke zvratu důlních větrů, až na větev č. 227(oblast pod výdušnou jámou Eleonora).

Pokud vyjdeme ze situace, kdy rovněž dojde ke změně depresí hlavních ventilátorů, ke zvratu důlních větrů dojde. Případná situace je zobrazena na obr. 20

Při stanovené intenzitě požáru stupně 10 došlo ke zvratu větrů na úvodní třídě do podpatrové oblasti po 1 min a 30 sekundách od vzniku požáru. Jelikož se tento porub nachází na diagonále spojující větrní oblasti ČSA a Doubrava, následná situace po zvratu větrů je téměř identická jako v předchozím případě. Jen s tím rizikem, že v oblasti podpatrového porubu by mohli zůstat pracovníci a byla by pro ně obtížná cesta nahoru.



obr. 20 Požár do oblasti podpatrového dobývání při zvratu větrů

### 10.3 Požár ve slepé jámě (šibíku)

Pokud dojde k důlnímu požáru ve svislém důlním díle, v našem případě v šibíku, mohlo by dojít k otočení směru větrního proudu ve sloji nad požárem. Další riziko při vzniku důlního požáru v šibíku spočívá v taktice samotného zásahu hašení. Do svislého důlního díla je velice obtížné se dostat a dá se hasit jediné spuštěním požárních skrápěcích věnců v záhlaví šibíku. V tomto případě začíná působit vliv padající vody, která vytváří tlak.

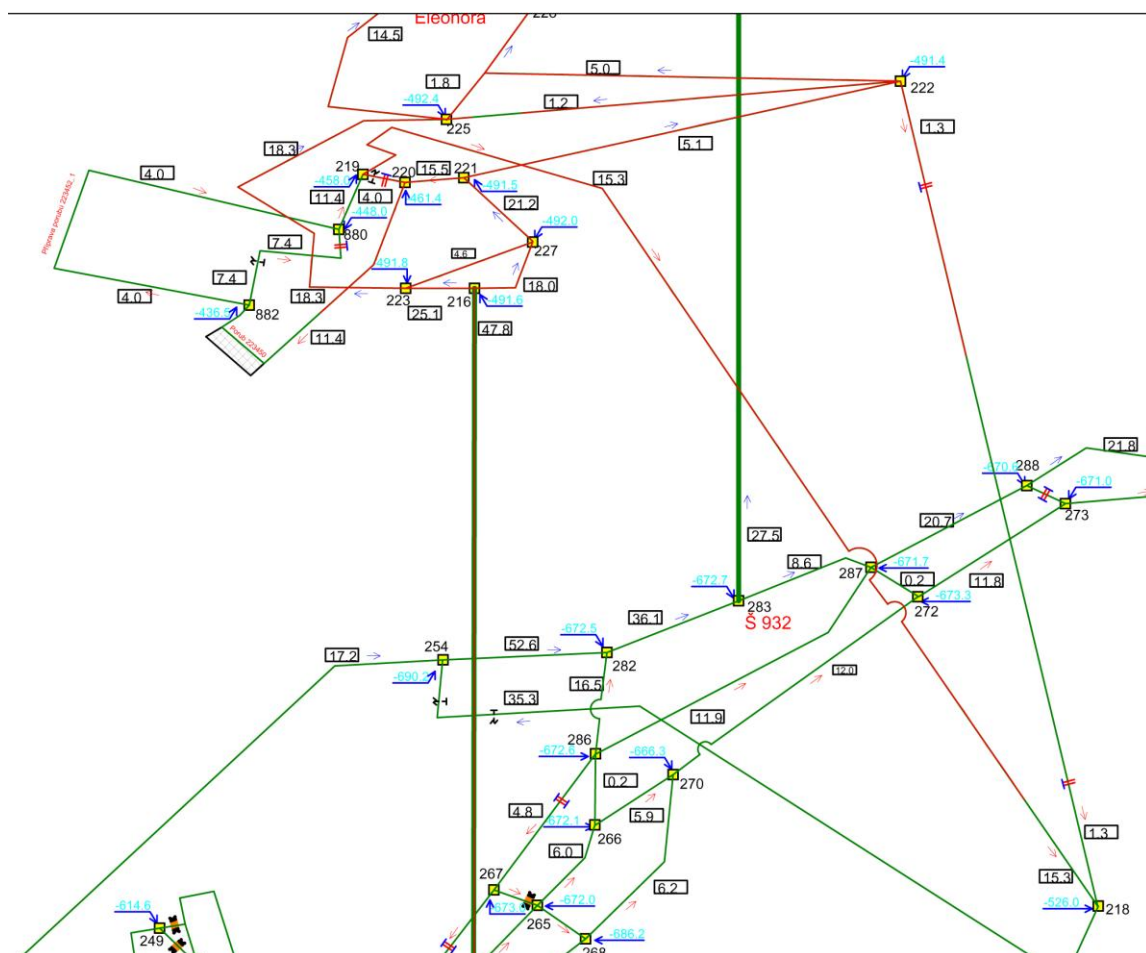
I tato eventualita vzniku požáru představuje značná rizika. Proto je vhodné promítnout do havarijního plánu možné situace, které mohou nastat. Podle stability větrní sítě, to znamená především rozdílu depresních spádů v jednotlivých uzlech a stupně intenzity požáru, nelze vyloučit zvrát větrů. Komplikace mohou také nastat při použití ústupových cest. Šibík je v řadě případů vybaven lezním zařízením. Při vzniku požáru je jeho funkce ohrožena a náhradní ústupová cesta představuje značnou fyzickou námahu.

Z dostupných materiálů o rozboru důlních požárů v šibíku vyplývá, že někdy je vhodné zasáhnout do systému větrání. Mám tím na mysli obdobný zásah, jaký byl uplatněn při řízení havárie na Dole Petr Cingr, který je zmíněn v úvodu kapitoly 10.

Přítomnost svislého díla (šibíku) v důlní síti se odvíjí od možnosti odtěžení materiálu z každé oblasti. Šibíky obecně propojují jedno i více těžních pater za účelem dopravy uhlí do pater se zásobníky nebo jámou pro odvoz na povrch. Každé těžní patro spojené šibíkem je větráno do šibíku a šibíkem nahoru k výdušné jámě. Pokud dojde v šibíku ke vzniku požáru, největší riziko představuje již zmiňovaný způsob hašení tohoto požáru. Padající voda vyvolává určitý tlak a ve svislém důlním díle působí jako píšť. V nejhorším případě může obrátit výdušné větry zpět do těžních pater, které jdou zpět k pracovištím spolu se zplodinami důlního požáru.

Na zvoleném modelu větrní sítě Dolu Karviná, závod ČSA se nachází tři šibíky. Dva šibíky (š. 932 a š. 924) se nachází v části důlního pole bývalého Dolu Doubrava a jeden šibík (š. 104) se nachází v části důlního pole Dolu ČSA. Pro danou analýzu byl vybrán šibík s nejmenším depresním spádem, kde je riziko zvrátu důlních vyšší ještě o tento stav nízké deprese.

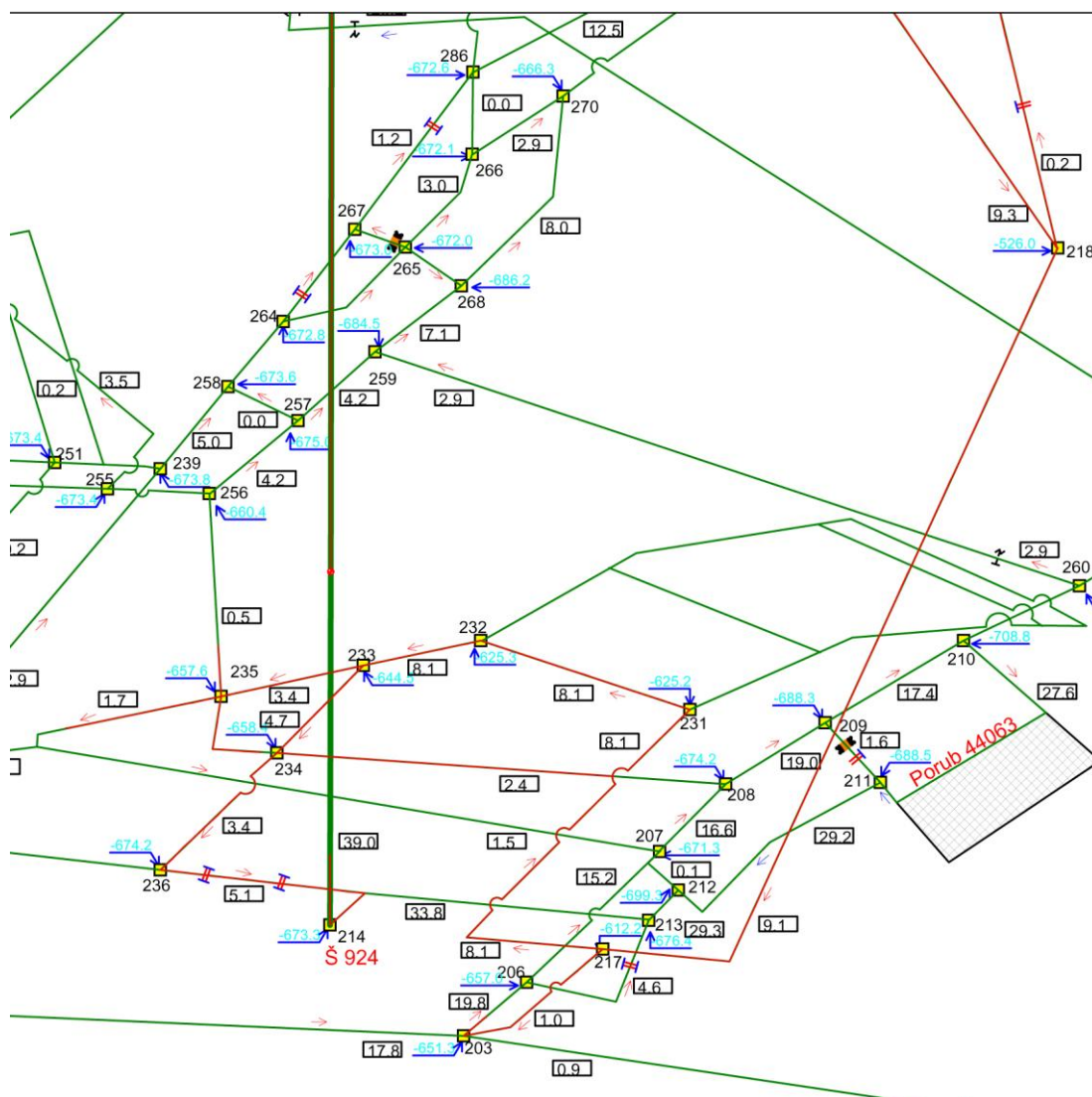
Z porovnání tlakových spádů v jednotlivých šibících a po konzultaci s vedoucím větrání předmětné oblasti byl vybrán šibík š. 924, kde je tlakový spád pouhých 46 Pa. Při modelování požáru s vyrovnanou sítí tak jako v předešlém případě ke zvratu důlních větrů nedošlo. Pokud ale budeme uvažovat změnu deprese hlavních ventilátorů stejně jako v prvních dvou případech, dojde ke zvratu důlních větrů nikoli v šibíku, ale nad šibíkem. To může způsobit, že dojde ke zvratu důlních větrů v úvodních větvích s čerstvými větry nad šibíkem a požární zplodiny se nám dostanou pod šibík a následně do šibíku přímo k ohnisku požáru. Pokud ještě vlivem obrácení proudění došlo ke zvýšení koncentrace metanu v důlním ovzduší, nebo přimíchání prachu, mohlo by v šibíku ještě dojít k výbuchu. Tato situace obrácení důlních větrů je zobrazena na obr 21.



obr. 21 Požár v šibíku (š. 924) při zvratu větrů

Po 5 minutách od vzniku důlního požáru došlo k obrácení proudění ve větvi mezi body č. 218 a č. 219 a ve větvi mezi body č. 218 a č. 222. Jakmile se do těchto větví

dostaly požární zplodiny z šibíku, začaly se šířit dolů zpět pod šibík. Po 47 minutách se požární zplodiny dostaly zpět do šibíku.



obr. 22 Požár v šibíku (š. 924) při zvratu větrů po 47 minutách

Tak jako u předešlých situací, i u tohoto požáru lze učinit opatření, díky kterým lze zamezit zvrat větrů. Jako nejefektivnější způsob se jeví snížení aerodynamického odporu ve větvi č. 188, vpravo před bodem č. 203, kde jsou vedeny čerstvé větry s vtažné jámy.

## 10.4 Požár na výdušné třídě nebo vrchní úvrati porubu na kritické cestě

V případě, kdy je téměř celý důl negativně regulován tak, že důlní větry proudí kritickou cestou k odvětrání všech potřebných částí dolu, může vlivem požáru dojít k navýšení spotřeby důlních větrů v důsledku potřeb požáru. V tomto případě by mohlo docházet ke zvrátům větrů v ostatních částech větrní sítě.

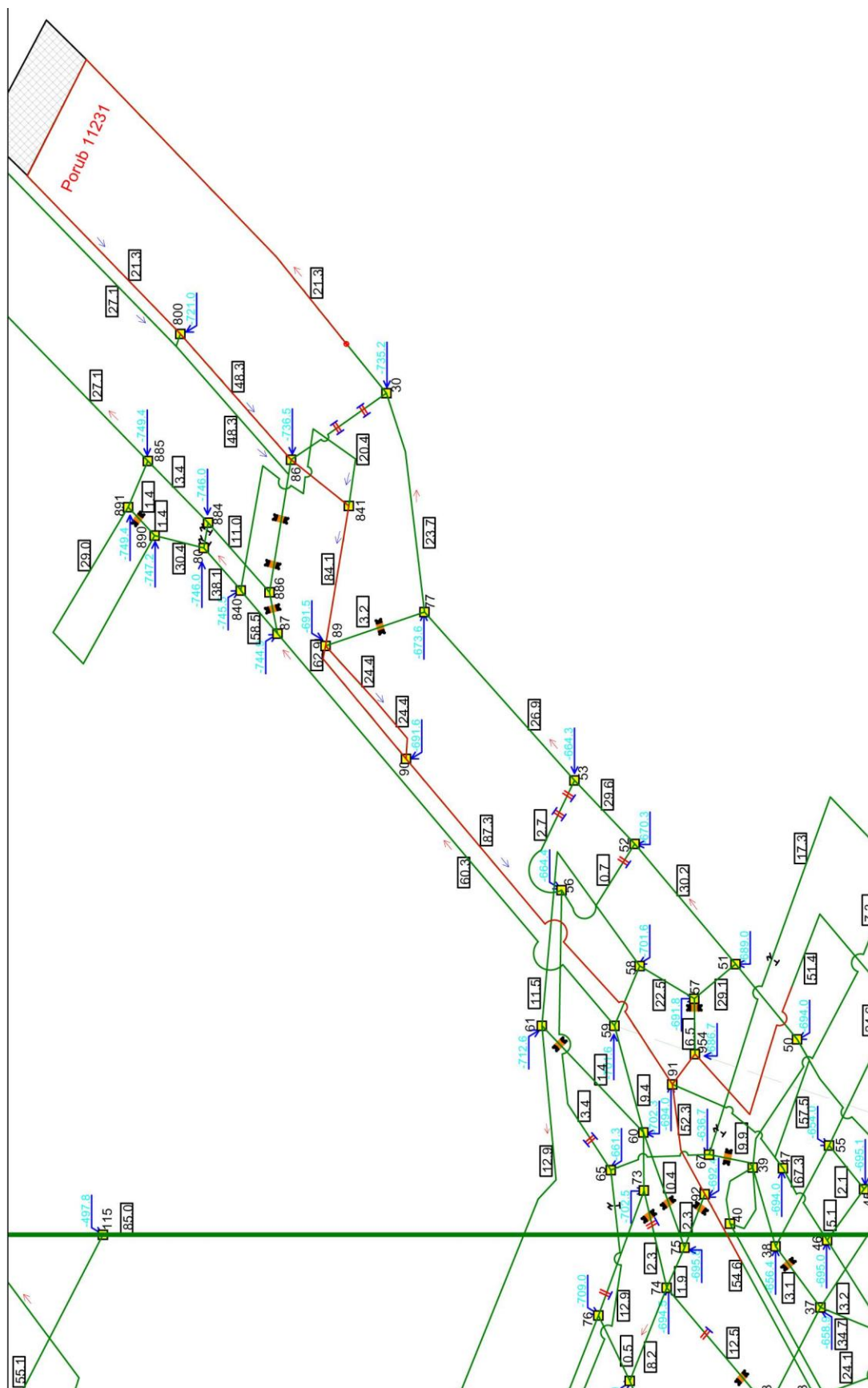
Navíc hrozí při tomto stavu další nebezpečí v koncentraci metanu. Z praxe je známo, že jeho vyšší obsah je převážně na výdušné straně porubu. Zvýšená teplota požáru by při určité hodnotě mohla způsobit explozi metanu a to s vyšší pravděpodobností než na úvodní straně porubu.

Celá větrní síť Dolu Karviná, závodu ČSA je většinou negativně regulována, a to z jednoho základního důvodu. Když potřebujeme odvětrat nějakou konkrétní oblast dolu, musíme v některé větvi větrní sítě snížit objemový průtok větrů, abychom dostali požadované množství čerstvých větrů do potřebné oblasti. Aktivní regulace dolu snižuje nároky na výkon hlavních ventilátorů, ale rozšiřování profilu důlních děl a jejich prodlužování není z ekonomického hlediska ta nejlepší volba.

Z tohoto rozboru vyplývá, že kritická cesta v dole je vlastně každá cesta ve větrní síti, které byl přidán objemový průtok větrů pomocí negativní regulace v paralelní větvi či jiného SVO.

Dále je také nutné při hodnocení kritické cesty ve větrní síti vzít v úvahu vzdálenost jednotlivých oblastí, které potřebujeme odvětrat a v neposlední řadě jejich hloubka. Čím budeme dále od vtažné jámy dolu a také čím budeme hlouběji pod posledním otevřeným patrem, tím je kladena vyšší náročnost na negativní regulace předmětných větví. Vtažné větry proudí tedy kritickými cestami až do nejvzdálenějších oblastí dolu.

Analýza větrní sítě Dolu Karviná, závodu ČSA a polohové rozložení jednotlivých důlních děl ukázala, že jedna oblast současného důlního pole je z hlediska větrání velice kritická. Je to oblast 11 kry na 11. patře v části důlního pole Dolu ČSA. Tato oblast je v nehlubších místech dolu a také nejdál od vtažné jámy (konkrétně porub 11231). V tomto místě jsem simuloval možný vznik důlního požáru.



obr. 23 Požár na vrchní úvratí porubu



V tomto případě vzniku požáru nedošlo ke zvratu větrů přímo ve vrchní úvrati porubu, ale došlo ke zvratu větví č. 120 mezi body č. 73 a č. 74 a ve větví č. 103 mezi body č. 61 a č. 60 kvůli větším potřebám požáru na čerstvé větry. Taktéž došlo ke zvratu, jako při všech modelových případech, ve větví č. 227. Celkem došlo k 10 obrácením směru proudění. Správným posouzením depresního snímku dané oblasti a vhodným umístěním negativní regulace, popřípadě rozbitím některých jiných negativních regulací lze docílit jejich zamezení.

## 11 Návrh podmínek pro řízení větrné sítě

Řízení větrné sítě se skládá ze dvou základních způsobů, a to z aktivní regulace větrné sítě a z pasivní (spíše dnes používanější termín negativní regulace). Pokud chceme aktivně regulovat větrnou síť např. regulováním deprese hlavního ventilátoru, jde o zásah do celé sítě dolu. S tímto způsobem regulace jsou ale spojené určité dílčí problémy a je velice těžké tížený efekt aktivního zásahu do hlavního ventilátoru nasměrovat do předmětné oblasti dolu. Jednou z hlavních nevýhod aktivní regulace je její finanční a časová náročnost. Z těchto důvodů je jednoznačně efektivnější používat negativní regulaci pro řízení větrné sítě, která nám dokáže požadovaný efekt nasměrovat tam, kam potřebujeme a není tak časově a finančně náročná.

Z hlediska bezpečnosti dolu je výhodné rozdělit celkové větrání dolu do menších částí (SVO). To má potom za výsledek, že každé SVO má svůj hlavní vtažný a výdušný větrný proud a nedochází k jejich vzájemnému ovlivňování. Důlní větry musí být rozváděny tak, aby SVO vznikla už pro přípravná důlní díla.

Pro správné řízení větrné sítě je nutné znát velice dobře poměry daného dolu. Ať už hlavní vedoucí větrání nebo ostatní pracovníci větrání, všichni musí mít neustálý přehled o následujících parametrech dolu:

- Celkový objemový průtok větrů a dílčí objemové průtoky.
- Rychlosti důlních větrů.
- Plynové poměry.
- Depresní poměry.
- Teplotní poměry (teploty okolních hornin a teploty důlních větrů).
- Dobrá orientace ve schématech větrné sítě (izometrická či kanonická schémata).
- Znalost rozmístění negativních regulací na dole (např. při vzniku důlního požáru vědět, kde by pomohlo při zdolávání požáru roztěsnit, popřípadě rozbít některé negativní regulace nebo naopak stavět další regulační objekty).
- Volit vhodný výpočetní program pro řešení větrných sítí s možností simulací havarijních situací (požárů) v dole (např. polský program Ventgraph).

Pokud by pro řešení větrní sítě byl využíván polský výpočetní program Ventgraph, popsany v této disertační práci, je nutno dodržet určité základní kroky, které jsou pro kompresibilní výpočet a modelování požárů nutné.

- Pravidelné měření suchých teplot, relativních vlhkostí a popřípadě tlaku v každém uzlovém bodě. Měření tlaků není až takovou podmínkou, tlaky lze dopočítat z klasického depresního měření. Ideální by bylo mít v každém uzlovém bodě čidlo, které bude kontinuálně měřit tyto hodnoty.
- Znat délky jednotlivých větví, které jsou rovněž nutné pro zadání pro podprogram POŽÁR.
- Sjednotit označení dílčích prvků větrní sítě s našimi značkami (jde především o označení dveří, hrází atd.).
- Provádět propočty větrní sítě s možným vznikem požáru.

Při samotném řešení větrní sítě při vzniku důlního požáru se vychází z obecně platných předpisů podle [1] a s ní souvisejících předpisů. Obecné zásady při vzniku důlního požáru nejen pro řešení větrní sítě lze formulovat takto:

- Stanovit ohroženou oblast, která je požárem postížena.
- Co nejdříve dostat z této oblasti všechny pracovníky.
- Zabezpečit ohroženou oblast tak, aby se do ní nedostali nepovolání lidé a aby se sami zasahující lidé nedostali do ohrožení.
- Pomocí správného řízení větrní sítě (negativní a aktivní regulace) docílit v ohrožené oblasti nevýbušného ovzduší.
- Účinně tlumit požár – přímým zásahem nebo odnímáním kyslíku.

## 12 Závěr

Větrání dolů a správné řízení větrných sítí je velice obtížný obor, který vyžaduje velké požadavky na preciznost při jejím řízení a udržování ve stanovených limitech. Vše je v našich podmínkách ztíženo faktem, že všechny doly OKR jsou plynující.

Hlavním úkolem mé doktorské disertační práce bylo stanovit možnosti a podmínky využití nového výpočetního programu v podmínkách našich dolů. K tomuto úkolu byly směřovány cíle práce.

Prvním cílem bylo vybrat SW prostředí vhodné pro výpočty ve větrných sítích s ohledem na vznik důlního požáru a porovnat možnosti jejich výpočtů. Pro volbu vhodného SW jsem analyzoval základní fyzikální zákonitosti, které se využívají k řešení větrných sítí a na jejich základě zvolil dva programy, český program SIT a polský program Ventgraph. Srovnáním propočetů cvičné větrní sítě obou programů se ukázalo, že oba jsou vhodné pro řešení větrných sítí při proudění důlního ovzduší za normálních podmínek (bez požáru). Ovšem pro případy řešení větrných sítí při proudění důlního ovzduší v anomálních podmínkách (vznik důlního požáru) je možné použít pouze program Ventgraph. Na základě těchto zjištění jsem program SIT použil pro stanovení zásad zamezení průtahu větrů závalovým prostorem porubu.

Druhým cílem disertační práce bylo řešení problematiky bezpečnosti zpřístupnění porubu, jehož uzavření bylo vynuceno samovznícením. K navržení správného odvětrání porubu jsem využil obou vybraných programů, abych provedl kontrolu správnosti výpočtu. V závěru řešení tohoto cíle jsem stanovil návrhy regulace větrání tak, aby se minimalizoval objemový průtok porubem až na hranici, která vyhovuje bezpečnostním předpisům (pomocí správných regulačních objektů v předmětné oblasti) a aby se použil foukací lutnový tah pro zvýšení objemového průtoku větrů na výdušné chodbě.

Pro splnění třetího cíle (grafické znázornění větrní sítě v programu Ventgraph a příslušné výpočty) byla vytvořena metoda umožňující použít program Ventgraph. Bylo nutno doměřit řadu měření, která se v současné době nedělají (např. měření suchých teplot a relativních vlhkostí v každém uzlovém bodě), protože dosud nebyly požadovány bezpečnostními předpisy a tím se nestaly součástí jednotlivých větrných rozvah a depresních měření na našich činných dolech. Z naměřených dat z Dolu Karviná, závod

ČSA jsem v programu Ventgraph sestrojil prostorové schéma větrní sítě a dále v tomto programu namodeloval možné stavy větrní sítě s důlním požárem v nebezpečném místě dolu. Tato část obsahuje také teoretické základy přirozeného větrního tahu a z naměřených hodnot vyvozují, jak lze přirozený větrní tah využít pro spolupráci s umělým větráním dolu.

Z řešení třetího cíle této disertační práce vyplývá i řešení dalšího, čtvrtého cíle, a to rizika podpatrového dobývání ve vztahu k důlní větrní síti. V této části jsou stanoveny tři základní nebezpečí, která se vyskytují při podpatrovém dobývání. Také jsem provedl názorný výpočet, kdy při vzniku požáru v úvodní třídě dojde ke zvratu proudění. Pokud dojde ke vzniku požáru a následnému zvratu větrů, je třeba správným opatřením tento nepříznivý stav změnit (buď snížením nebo zvýšením deprese hlavních ventilátorů, nebo ve správné větvi zvolit negativní regulaci, popřípadě její roztěsnění).

Na základě těchto čtyř cílů mé disertační práce jsem dokončil poslední cíl mé práce a v závěrečné kapitole jsou na základě podrobné analýzy stanoveny obecné optimální podmínky pro řízení větrních sítí dolů, či jejich částí ohrožených požárem. Stanovení optimálních zásad pro jednotlivé dílčí požáry se odvíjí od znalosti depresních poměrů ve všech větvích a od posouzení možných aktivních či pasivních regulací v předmětných větvích.

Upravené využívání zvoleného softwaru Vengraph pro výpočty větrních sítí je velice aktuální téma umožňující v budoucnu podstatnou měrou pozitivně ovlivnit i ekonomiku hlavního větrání každého dolu. Výsledky mé disertační práce umožňují program Ventgraph využít v praxi i v podmínkách dolů OKR a jeho používání výrazně ulehčí řadu složitých situací důlního větrání dosud modelově neřešitelných (např. počítat s možným vznikem požáru ve větrní síti a jeho důsledky, nebo při řešení větrních sítí využívat i přirozený větrní tah jako podpory umělého hlavního větrání dolu).

## 13 Použitá literatura

- [1] Vyhláška č. 22/1989 Sb. ČBÚ o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí
- [2] DZUIRZYNSKI, W., PALKA, T., KRAWARCZYK, J.: *Ventgraph pro Windows, uživatelská příručka*, Krakow, 2006, ISSN 1509-2593
- [3] OTÁHAL, A., MÍČEK, D.: *Řešení větrných sítí*, VŠB – TU Ostrava, 1997
- [4] ZAPLETAL, P.: *Comparison of network mine ventilation in program Ventgraph and SIT version 2.3*, GeoScience engineering, VŠB – TU Ostrava, 2009, v tisku
- [5] ZAPLETAL, P.: *Possibilities utilization of program SIT for optimalization of ventilation in the area where could be risk of spontaneous combustion*, GeoScience engineering, VŠB – TU Ostrava, 2009, v tisku
- [6] VORÁČEK, V.: *Řízení proudění větrů závaly stěnových porubů se zvláštním zřetelem na riziko samovznícení uhlí*. Doktorská disertační práce, VŠB-TU Ostrava červen 1999
- [7] LÁT, J.: *Oponentní posudek k doktorské disertační práci „Řízení proudění větrů závaly stěnových porubů se zvláštním zřetelem na riziko samovznícení uhlí“*. VŠB-TU Ostrava, 16. května 2000.
- [8] PROKOP, P.: *Metodika stanovení vytěžitelných zásob plynů z uzavřených dolů*, oponovaná studie, VŠB – TU Ostrava 2007
- [9] CHROBÁČEK, K.: *Výpočetní program SIT verze 2.39*, Ostrava 2000
- [10] ŠÍŠKA, F., PROKOP, P. [et al]: *Banské vetranie*, Alfa, Bratislava, 1993
- [11] SUCHAN, L., BAJER, M.: *Termodynamika důlního větrání*, SNTL Praha, 1975
- [12] OGOREK, Z.: *Stanovení teplotních a tlakových změn při důlním požáru pomocí nomogramu*, VVUÚ, Ostrava – Radvanice, Zpráva č. 153
- [13] OGOREK, Z.: *Závěrečná zpráva „Bezpečnost práce v hornictví a výzkum jejího zabezpečení užitím automatizačních prostředků“*, VVUÚ, Ostrava – Radvanice, 1980
- [14] Historický přehled odbytové těžby uhlí od roku 1876 na území ČR  
URL: <<http://osphgn.cmkos.cz/historie/prehledtezbytab.htm>> [2009-5-25]
- [15] MAKARIUS, R., POŠTA, V.: *Báňské záchrannářství I.*, Montanex, Ostrava, 2000
- [16] MAKARIUS, R., FASTER, P.: *Memento důlních nehod v českém hornictví*, Montanex, Ostrava, 2008
- [17] URBAN, P.: *Dobývání porubu č.112794 podpatrovým způsobem na Dole Paskov v podmínkách OKR- ČR*, učební texty slezské univerzity Gliwice, 2009, v tisku

## 14 Vlastní publikační činnost

ZAPLETAL, P., KOUDELKOVÁ, J., STOCH, M., HÁJEK, L., PROKOP, P., PROKOPOVÁ, J.: *Problematika výstupu důlních plynů na povrch*, SPBI Ostrava (2006) ISBN 80-86634-96-5

ZALPETAL, P.: *Sledování výstupu plynu v uzavřeném podzemí v lokalitě Orlová na vrtu OV 24a*, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko – geologická, ročník LII 2(2006), ISBN 80-248-1271-1, ISSN 0470-8476, 30-35.

MALÍČEK, P., URBAN, P., CHOVANEC, J., ZAPLETAL, P.: *Systematická metoda analýzy bezpečnostních rizik souvisejících s výstupem metanu na povrch*, dílčí zpráva pro GAČR 105/06/1201, VŠB – TU Ostrava, 2006

ZAPLETAL, P.: *Spolupráce mezi báňskou správou a kamenoprůmyslem v USA*, Současnost a perspektiva těžby a úpravy nerudných surovin IV, VŠB-TU Ostrava 2007, ISBN 978-80-248-1396-7, 215-220.

ZAPLETAL, P., MORÁČKOVÁ, G.: *Vědecko-výzkumná podpora posunu bezpečnosti při výstupu stařínných plynů z opuštěných dolů na zemský povrch*, Sborník referátů z 12. mezinárodní konference Hornická Ostrava 2007, ISBN 978-80-02-01927-5, 88-90.

MALÍČEK, P., URBAN, P., CHOVANEC, J., ZAPLETAL, P.: *Systematická metoda analýzy bezpečnostních rizik souvisejících s výstupem metanu na povrch*, dílčí zpráva pro GAČR 105/06/1201, VŠB – TU Ostrava, 2007

CHOLEVOVÁ, I., PROKOP, P., ADAMUS A., KOUDELKOVÁ, J., CHOVANEC, J., STOCH, M., ZAPLETAL, P., RUMLOVÁ, M.: *Matematický model závislosti výstupu důlních plynů na kolísání barometrického tlaku*, Ostrava 2007, ISBN 978-80-248-1679-1

PROKOP, P., KOUDELKOVÁ, J., TREJBAL, Z., ZAPLETAL, P., FIURÁŠKOVÁ, D.: *Oponovaná závěrečná zpráva projektu „35/L3 Vědecko-výzkumná podpora významného posunu bezpečnosti při neřízeném výstupu stařínné atmosféry vycházející z řešení zbytkové plynodajnosti a plynonosti utlumovaných a opuštěných dolových partií“*, VŠB – TU Ostrava, září 2008

ZAPLETAL, P.: *Comparison of network mine ventilation in program Ventgraph and SIT version 2.39*, GeoScience Engineering, ISSN 1802-5420, VŠB-TU Ostrava, 2009 v tisku

ZAPLETAL, P.: *Possibilities utilization of program SIT for optimalization of ventilation in the area where could be risk of spontaneous combustion*, GeoScience Engineering, ISSN 1802-5420, VŠB-TU Ostrava, 2009 v tisku

PROKOP, P., URBAN, P., CHOVANEC, J., ZAPLETAL, P.: *Měření výstupu plynu v Orlové v letech 2003 - 2007*, GeoScience Engineering, ISSN 1802-5420, VŠB-TU Ostrava, 2009 v tisku

## Seznam obrázků

obr. 1 Ukázka větrní sítě se vzniklým požárem ve větvi 7B-8 [2].....	21
obr. 2 Kanonické schéma větrní sítě po výpočtu programem SIT .....	23
obr. 3 Schéma výchozího stavu sloje 14791 .....	25
obr. 4 Schéma přesunu izolací a snížení aerodynamického odporu regulačních dveří .....	29
obr. 5 Otevření (poškození) dveří ve větvi 163.....	31
obr. 6 Přidání dveří na úvodní straně .....	32
obr. 7 Zvýšení deprese HV (z 2350 Pa na 3500 Pa) .....	33
obr. 8 Snížení deprese HV (z 2350 Pa na 1800 Pa) .....	34
obr. 9 Uzavřený porub 28731 v lokalitě Jan-Karel Dolu ČSA .....	38
obr. 10 Výřez porubu č. 28731 .....	39
obr. 11 Zpřístupnění porubu č. 28731 (odstraněny hráze) – SVO po znovuzpřístupnění (výchozí stav) .....	42
obr. 12 Zpřístupnění porubu č. 28731 (odstraněny hráze) – SVO po znovuzpřístupnění (výchozí stav) – Ventgraph.....	43
obr. 13 Snížení aerodynamického odporu základny .....	45
obr. 14 Nasazení FLT .....	48
obr. 15 Zpřístupnění porubu č. 28731 nasazení FLT a snížení odporu izolace základny .....	49
obr. 16 Schéma tepelného vztaku v sestupně vedeném větrním proudu.....	61
obr. 17 Počet požárů a jejich četnost ve vztahu k těžbě jednotlivých letech na dolech ČR. ....	66
obr. 18 Požár v mezioblastní diagonále při zvratu větrů.....	71
obr. 19 Požár v mezioblastní diagonále při zvratu větrů po 22 minutách .....	72
obr. 20 Požár do oblasti podpatrového dobývání ppř zvratu větrů .....	75
obr. 21 Požár v šibíku (š. 924) při zvratu větrů.....	77
obr. 22 Požár v šibíku (š. 924) ppř zvratu větrů po 47 minutách .....	78
obr. 23 Požár na vrchní úvrati porubu .....	80



## Seznam tabulek

Tabulka 1 Srovnání výpočtu v programu Ventgraph a SIT [4].....	22
Tabulka 2 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 před zpřístupněním (regulace na konci SVO) ..	39
Tabulka 3 Základní informace o dané lokalitě.....	40
Tabulka 4 Mezní rychlost větrů pro zamezení tvorby metanových vrstev .....	41
Tabulka 5 Objemový průtok větrů pro dodržení mezní rychlosti větrů .....	41
Tabulka 6 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 po zpřístupnění (regulace na konci SVO – pouze odstraněny hráze).....	44
Tabulka 7 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 nasazení FLT .....	47
Tabulka 8 Výstup propočtu Porub 28731 v r. 2004 – nasazení FLT a snížení odporu izolace základny .....	50
Tabulka 9 Ukázka výpočtů v programu Ventgraph a v programu SIT .....	52
Tabulka 10 Tabulka části výpočtu při teplotě 18,8 °C a původní depresi ventilátorů .....	56
Tabulka 11 Tabulka části výpočtu při částečné změně teploty a původní depresi ventilátorů.....	56
Tabulka 12 Tabulka části výpočtu při částečné změně teploty a snížení deprese ventilátorů o 20% ..	57
Tabulka 13 Počet požárů v dole i na povrchu v dolech v působnosti ČBÚ. ....	65

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Kompresibilní propočet větrní sítě Dolu Karviná, závod ČSA

Příloha č. 2: Prostorové schéma větrní sítě Dolu Karviná, závod ČSA

Příloha č. 3: Kanonické schéma větrní sítě Dolu Karviná, závod ČSA

Příloha č. 4: Naměřené hodnoty suchých teplot a relativních vlhkostí